

# **Schadensfälle in der Schweißtechnik und deren Vermeidung**

**Referent: Peter Gerster ö.b.u.v. Sachverständiger für Schweißtechnik**

**Obwohl das technische Wissen über die von vielen Einflüssen geprägte Eigenschaft „*Tragfähigkeit*“ von geschweißten Metallkonstruktionen heute im wesentlichen als gesichert gilt, nehmen Schäden an geschweißten Konstruktionen in fast allen Anwendungsbereichen leider nicht ab. Die Ursachen dafür sind vielfältig.**

**Es nehmen Schäden zu, die vor allem durch ungenügende schweißtechnische Vorgaben der Konstruktion entstanden sind. Solche unzureichenden Vorgaben ziehen häufig eine mangelhafte Ausführung nach sich.**

**An Beispielen aus der Praxis wird gezeigt, dass viele Schäden an Schweißkonstruktionen auf banale Ursachen zurückzuführen sind.**

## **Mögliche Versagensursachen:**

**Das Versagen von geschweißten Bauteilen kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden:**

- **falsche Belastungsannahmen**
- **falsche Werkstoffauswahl**
- **unzureichende Berücksichtigung des Kraftlinienverlaufes**
- **falsche Werkstoffauswahl bei Beanspruchung in Dickenrichtung**
- **unzureichende Güte der Schweißverbindung**
- **Nichtberücksichtigung der Einsatztemperatur**
- **Fehler bei der Aufbringung der Beschichtungsstoffe**
- **Fehleinschätzung der Bauteilstabilität**
- **Fehleinschätzung der Ermüdungsbelastung**

## Was waren die häufigsten Fehler?

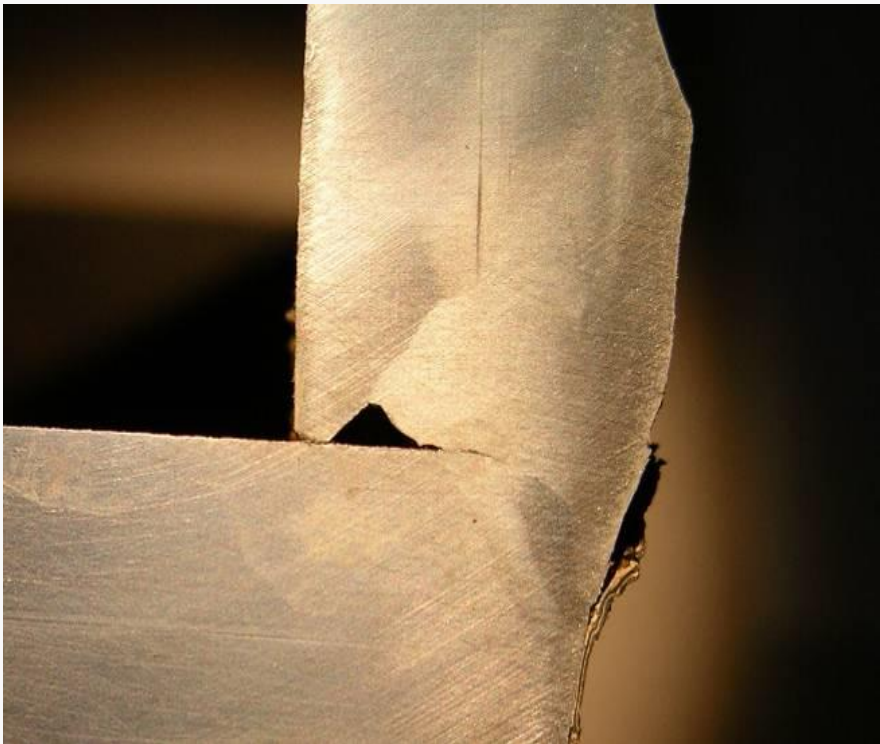
- **Bindefehler (Flanken-, Wurzel-, Lagen-)**
- **schlechte Schweißnahtvorbereitung**
- **ungenügende Durchschweißung**
- **Ermüdungsrisse**
- **Konstruktive Fehler**



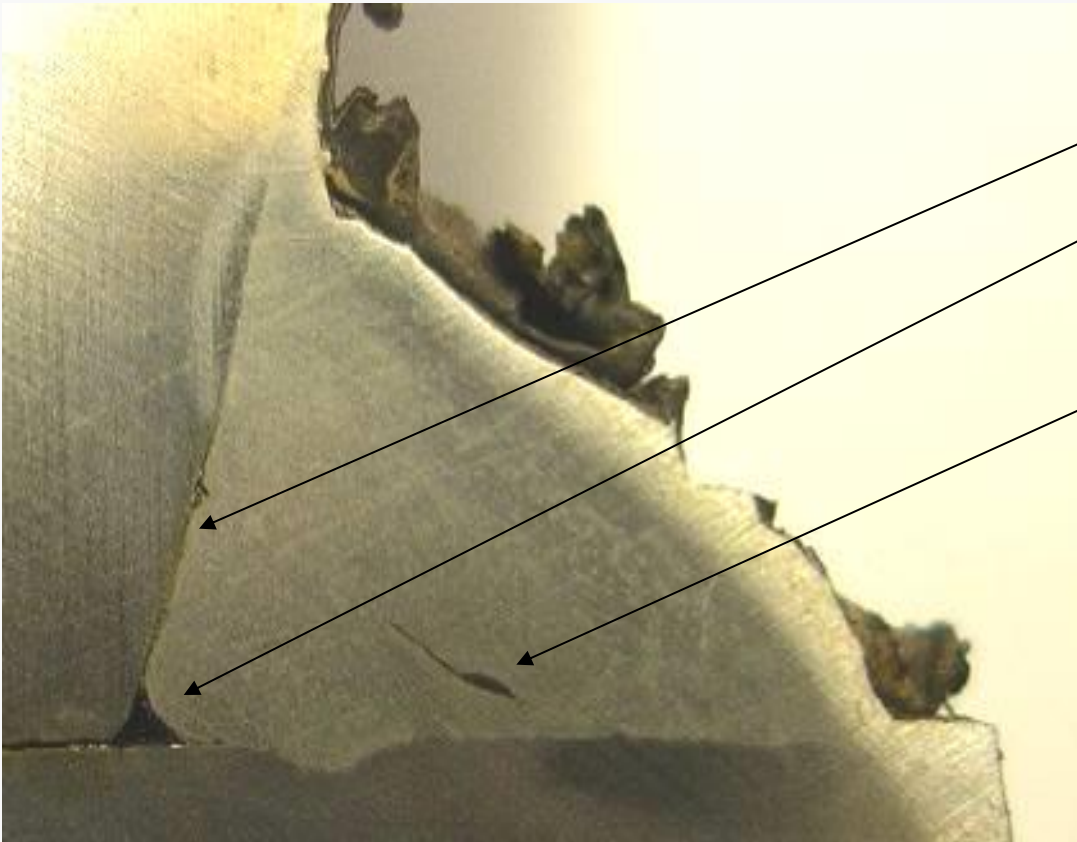
## Was waren die häufigsten Ursachen?

- Handfertigkeitsfehler der Schweißer
- ungenügende Zeichnungsangaben
- konstruktive Ausführungsfehler

## Beispiel Bindefehler an einem Fahrzeugrahmen



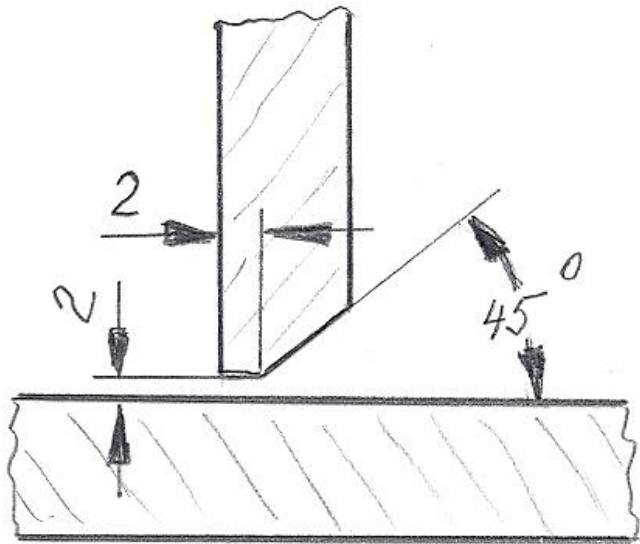
## Beispiel Bindefehler an einem Fahrzeugrahmen



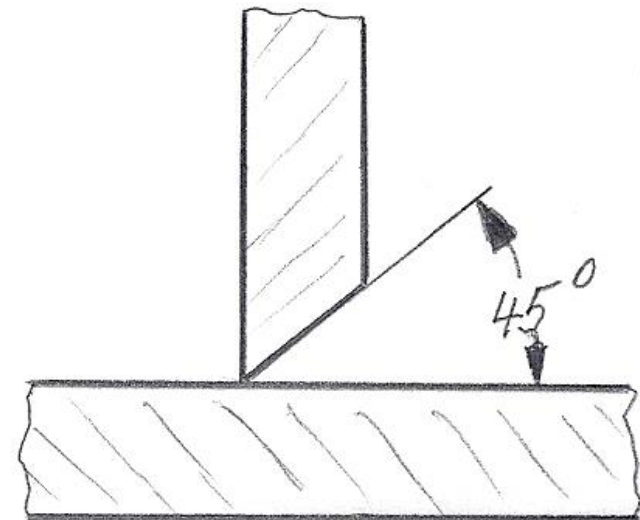
Flankenbindefehler

• Nicht durchgeschweißte  
Wurzel

• Lagenbindefehler



Skizze a



Skizze b



**Innovative Produkte für mehr  
Qualität und Wirtschaftlichkeit**



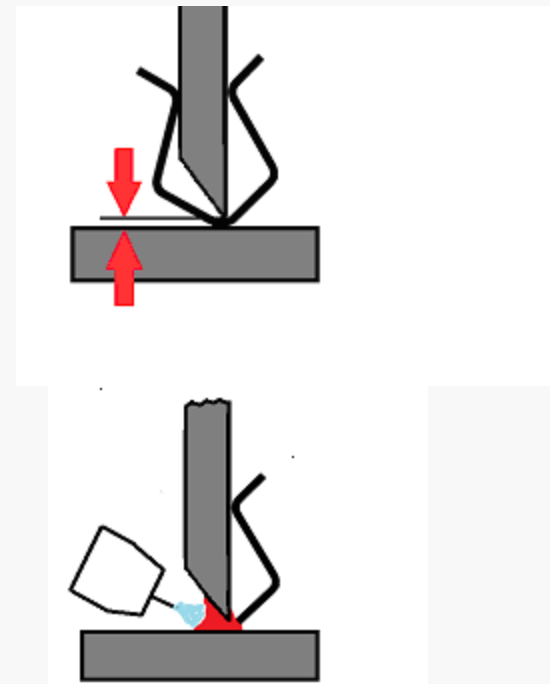
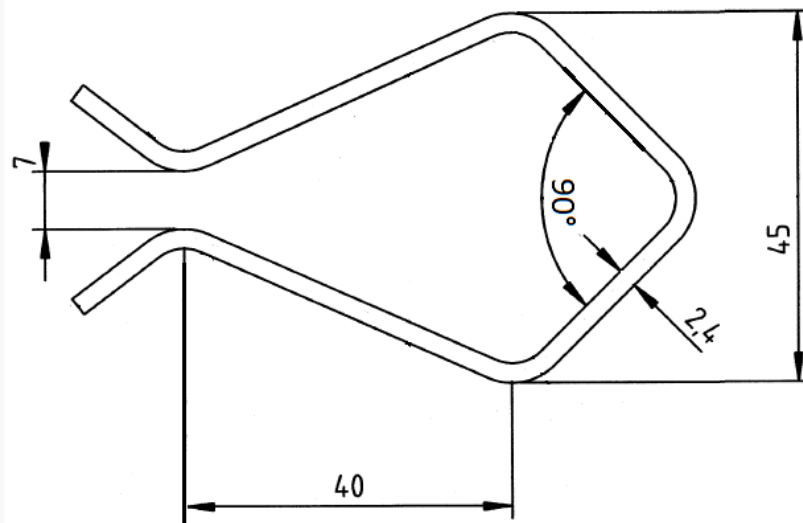
Palige Schweißtechnik GmbH  
Industriestr. 3  
97631 Bad Königshofen  
Tel.: 0049 (0)15156166159  
Mail: paulpalige@palige-  
schweisstechnik.de

Einsatz vor dem Heften  
Erzeugt definierten Luftspalt  
Verbleibt in der Naht

Werkstoff: NiMoCr-IG\*

Dicke: 2,0, 2,4 und 3,0 mm

Für Blechdicken von 4 bis 40mm



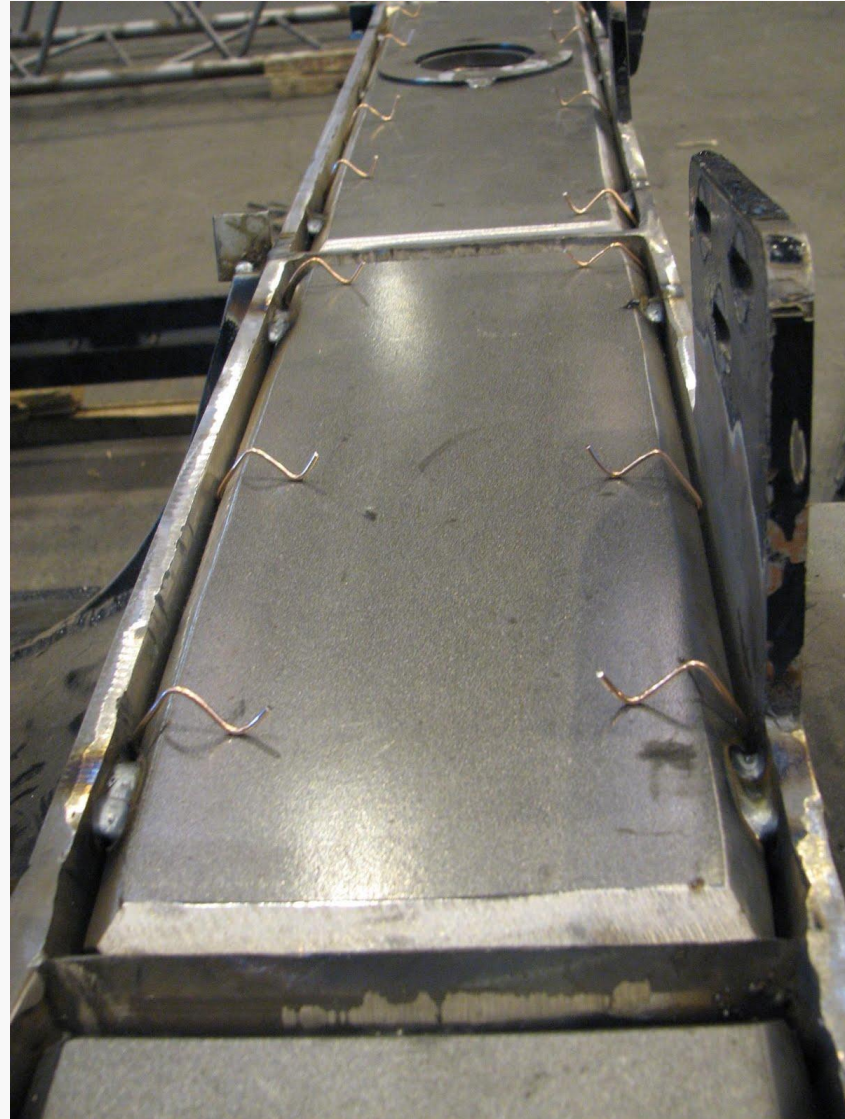
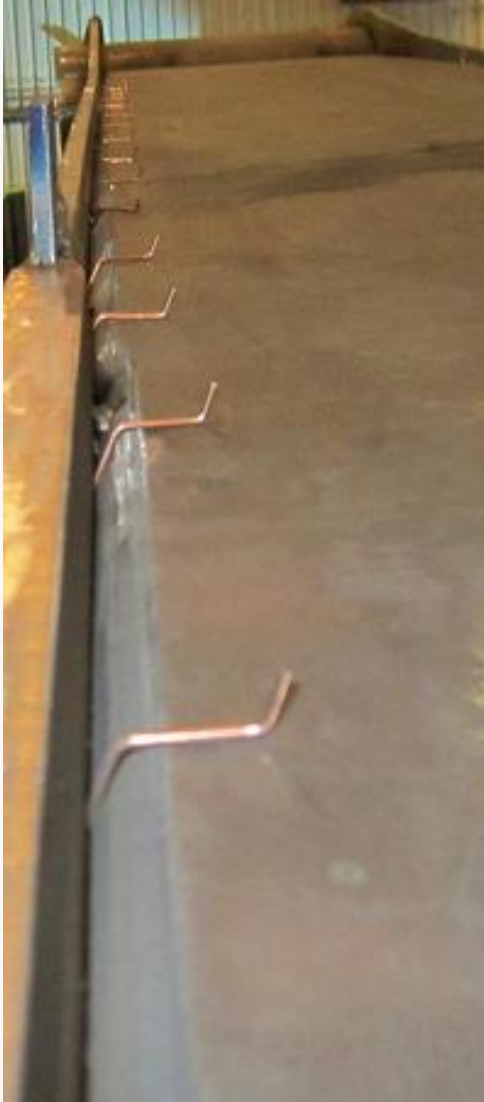
\* Streckgrenze 690 N/mm<sup>2</sup>

\* VdTÜV-Blatt 09369.03

Deutsches Gebrauchsmuster

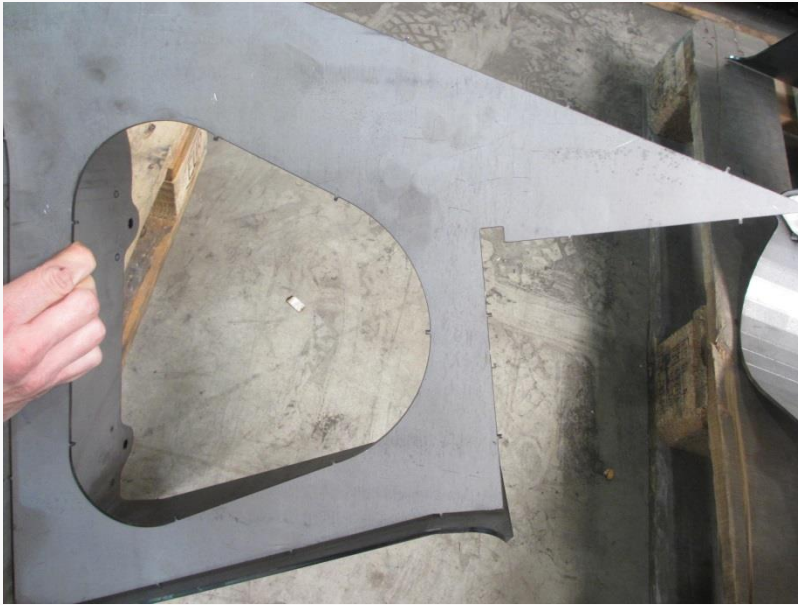
Europäisches Patent angemeldet













## Gerissene Schweißnaht an einem Hydraulikzylinder eines Kranes



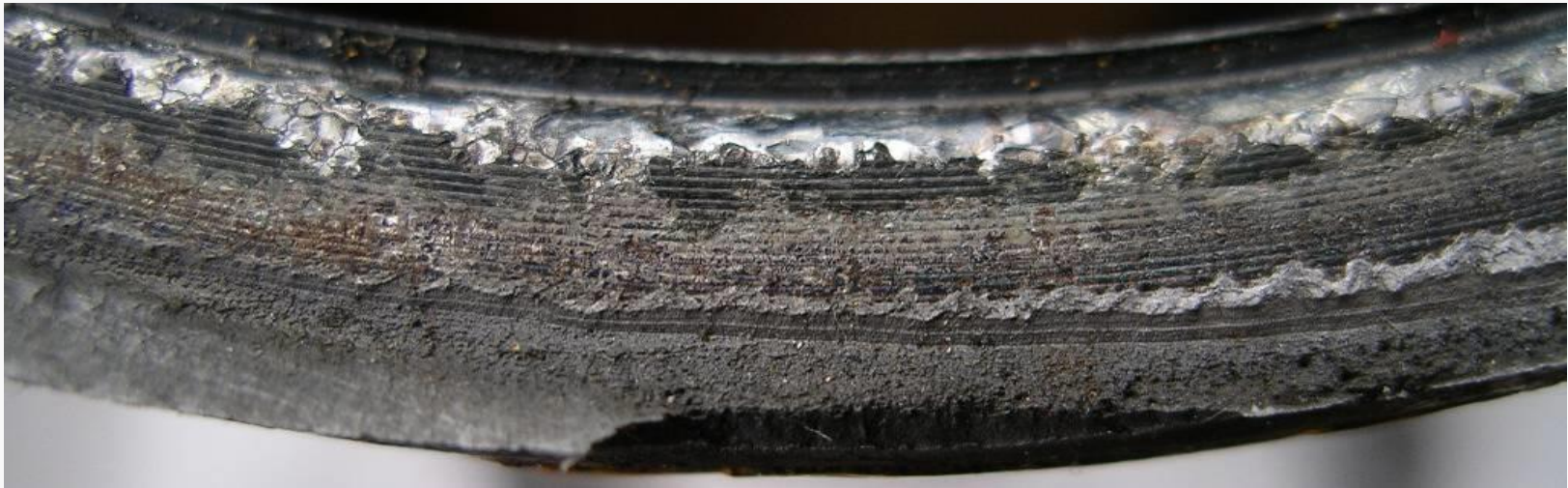
## Gerissene Schweißnaht an einem Hydraulikzylinder eines Kranes







Bruchfläche auf der Zylinderaugenseite



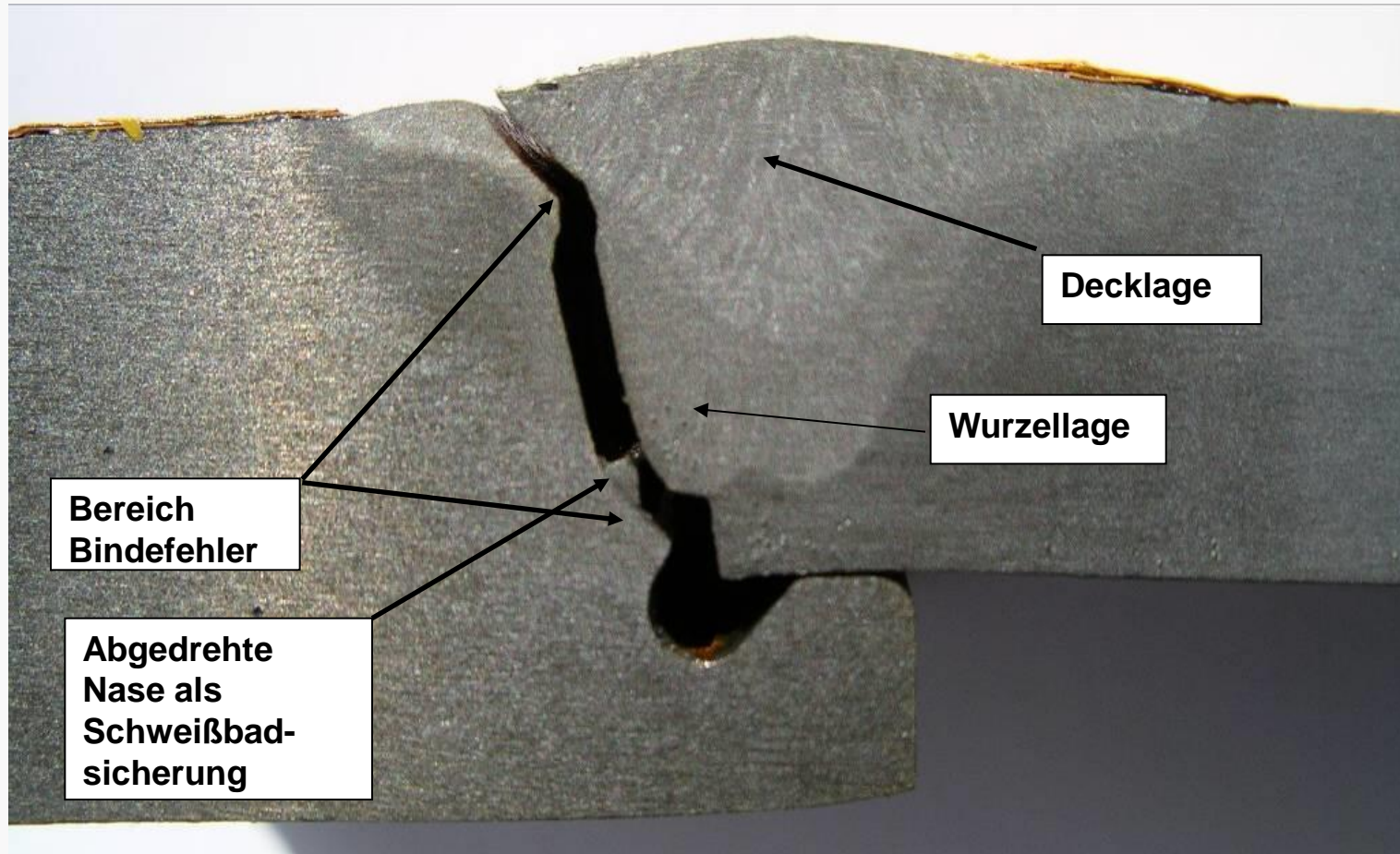
**Bruchfläche auf der Rohrseite mit Drehriefen auf der Schweißnaht**





**Nicht durchgeschweißte Wurzel  
mit Ansatzfehler**

**Beginn – Ende des Dauerbruches mit  
Rastlinien**



**Makroschliff der gerissenen Schweißverbindung mit Bindefehler**

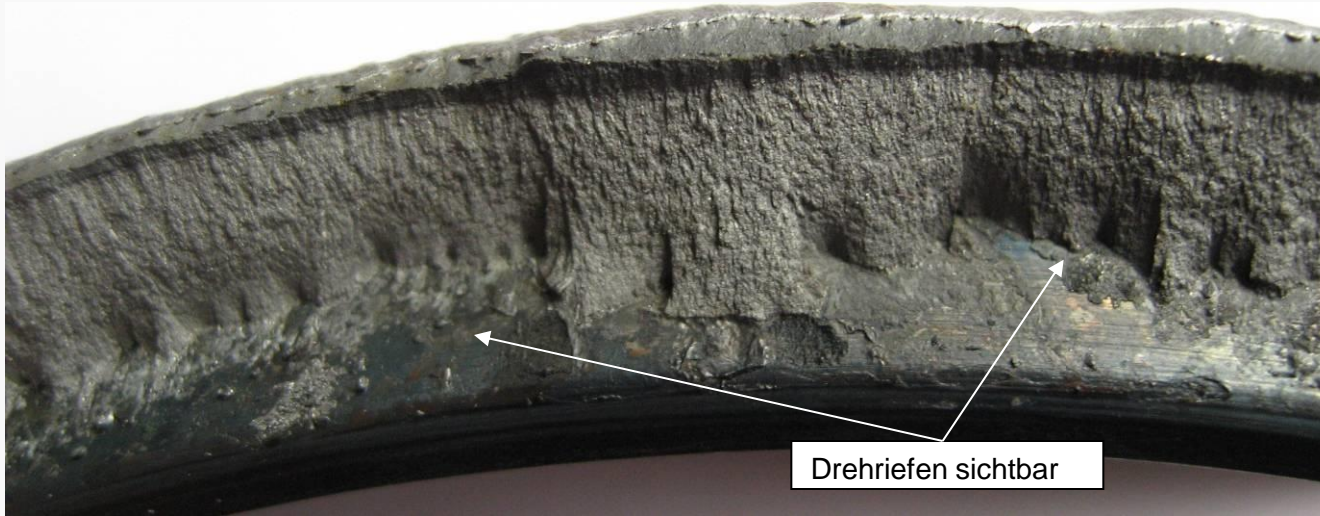




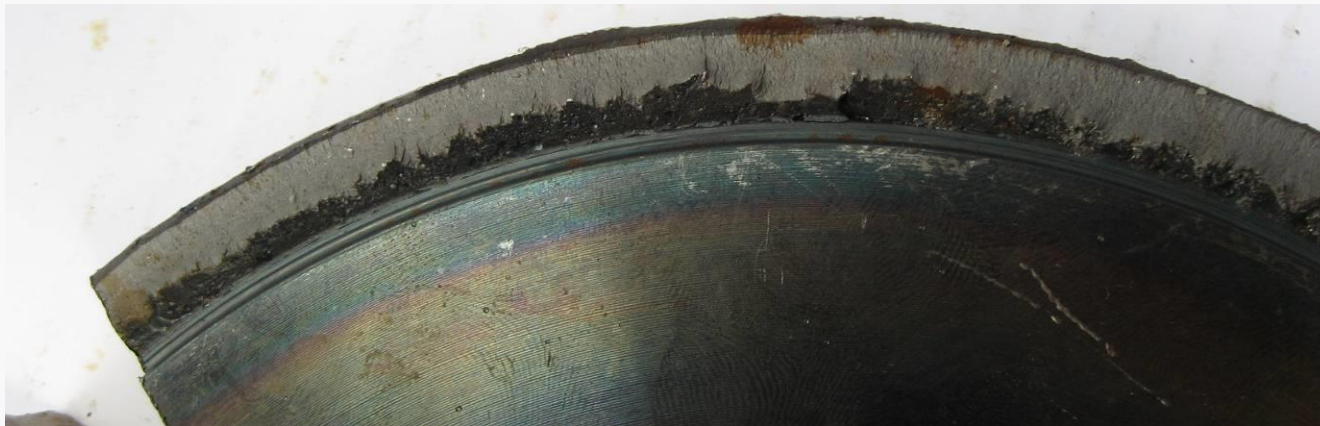




Riss an  
doppeltwirkenden  
Hydraulikzylinder

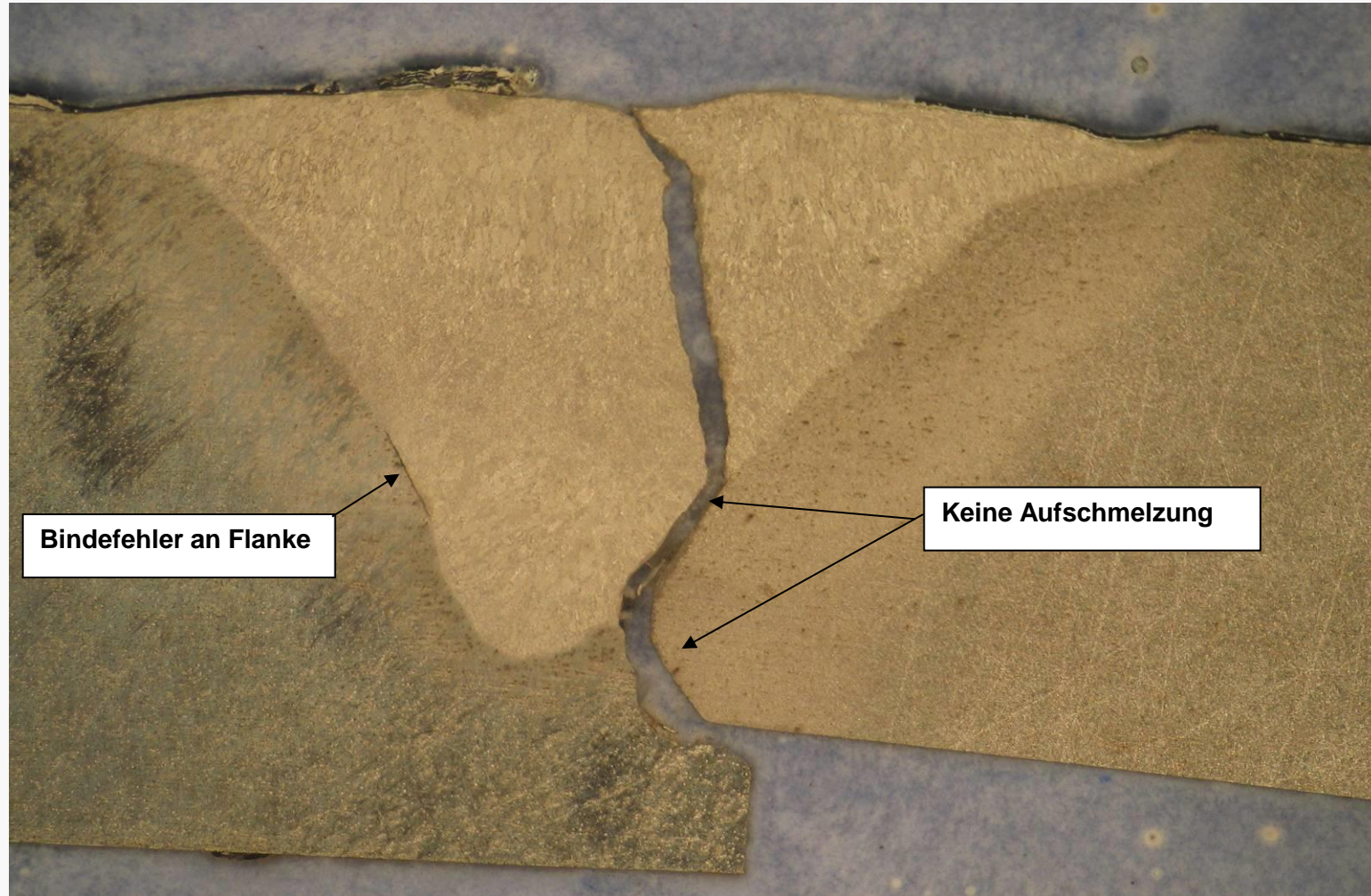


**Blick auf  
Zylinderrohr  
mit Bindefehler**



**Blick auf  
Zylinderboden  
mit Bindefehler**

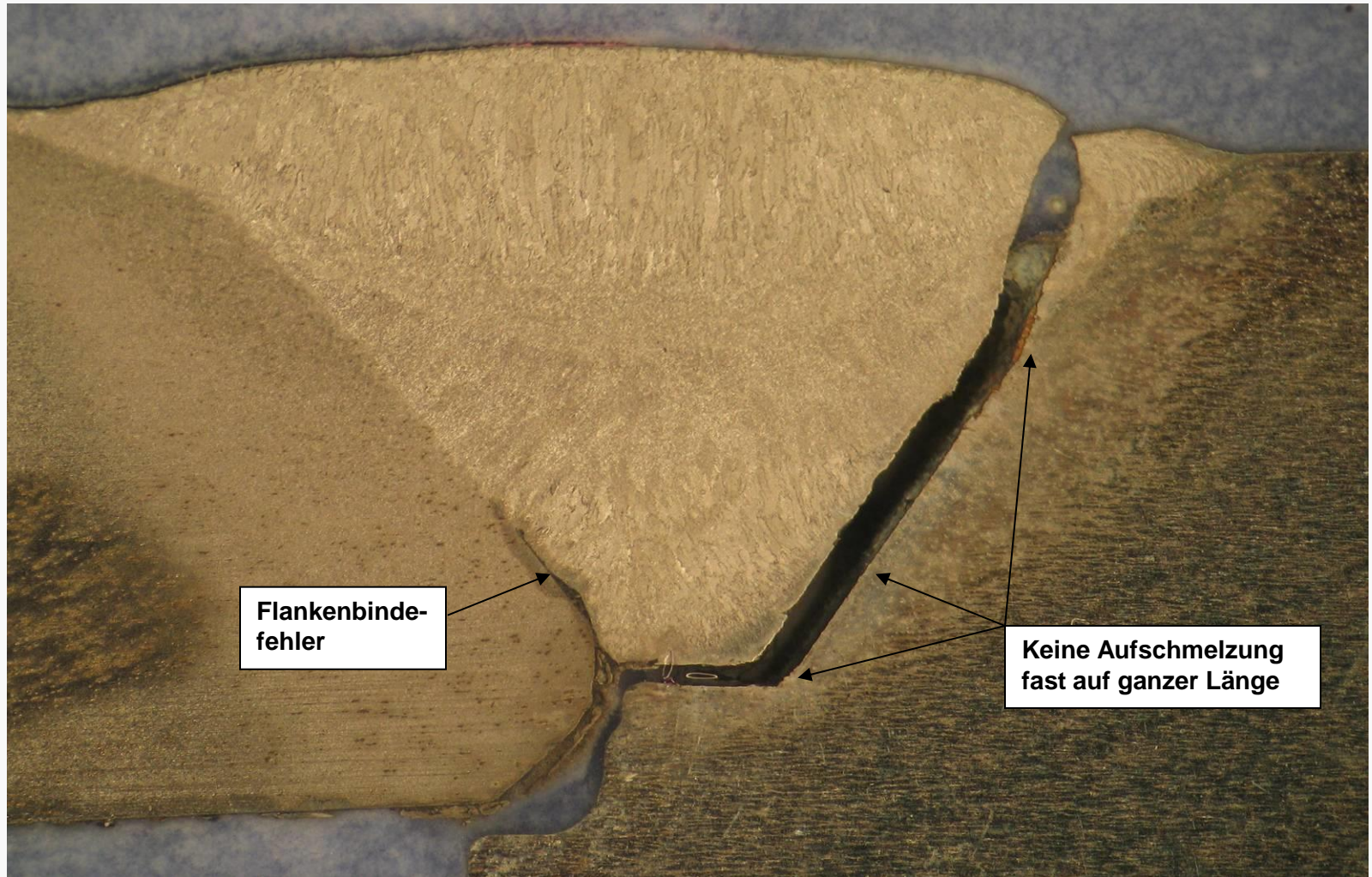




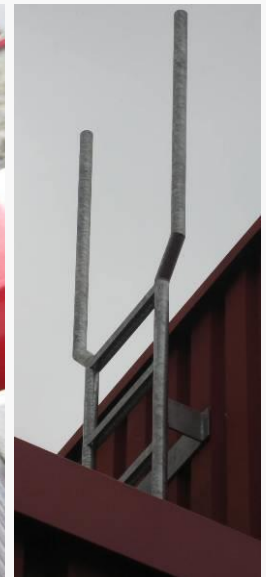


2. Zylinder  
gleicher  
Firma

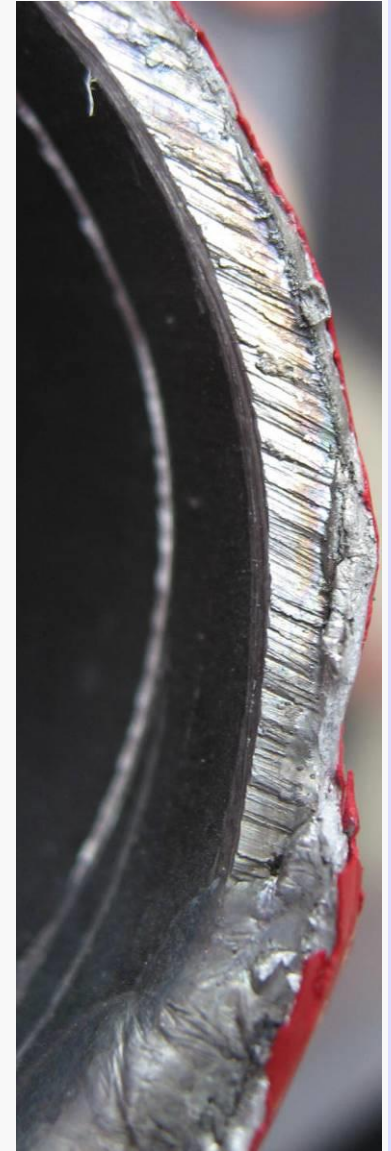




## Absturz eines Mitarbeiters durch Bruch beider Halterohre



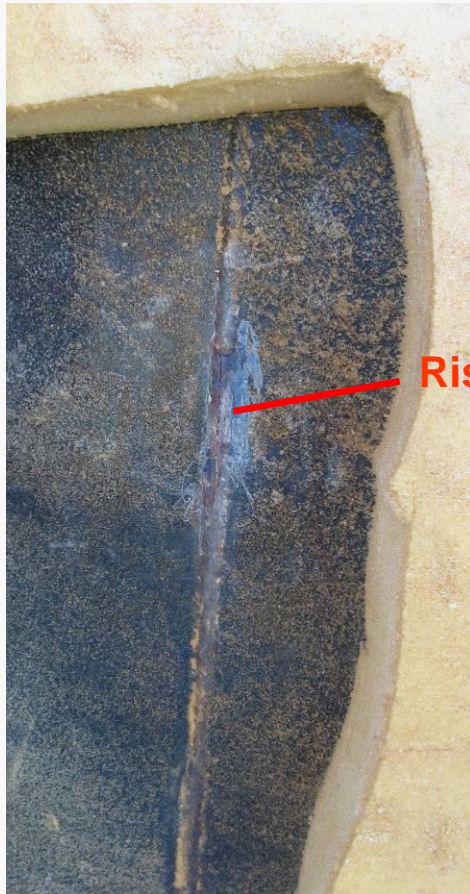




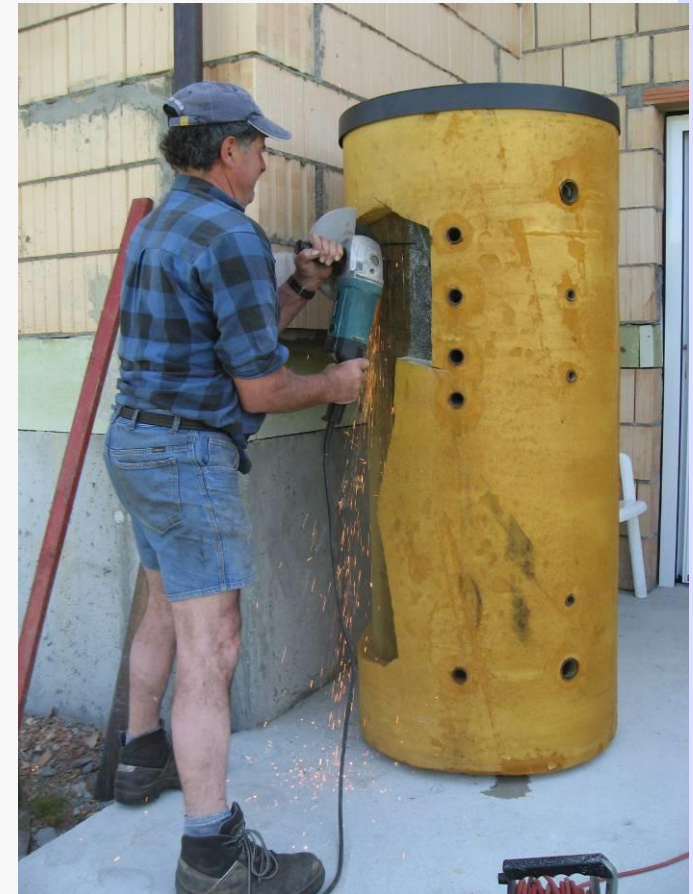




## Beispiel gerissener Warmwasserboiler



Riss





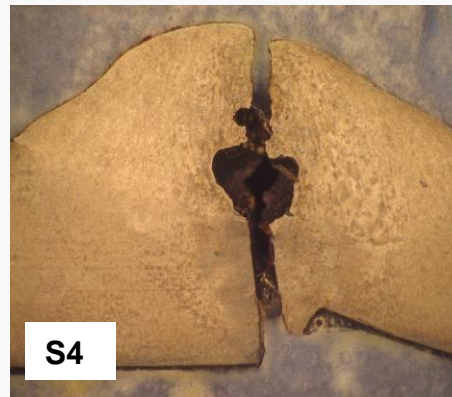
## Beispiel gerissener Warmwasserboiler



S1



S2



S4



S5

## Beispiel gerissener Warmwasserboiler

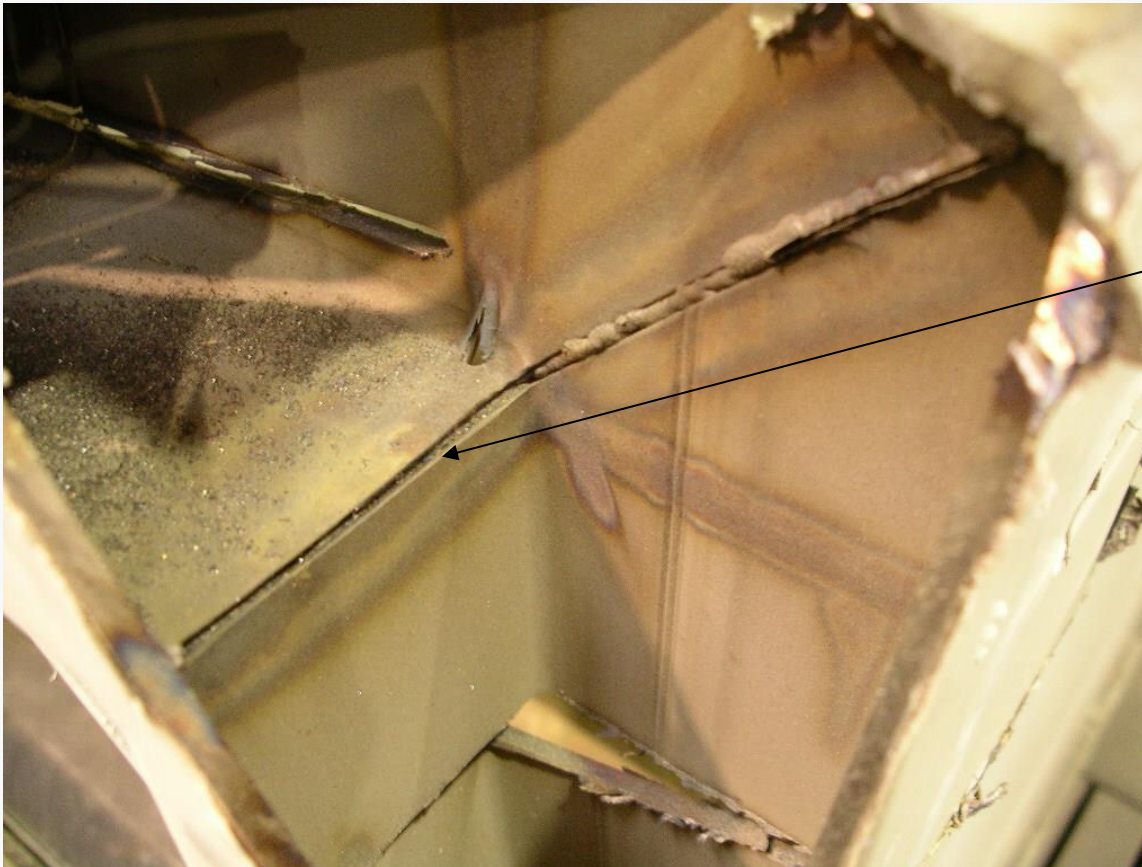




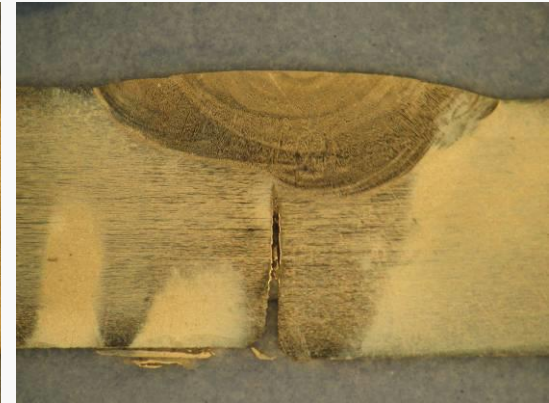
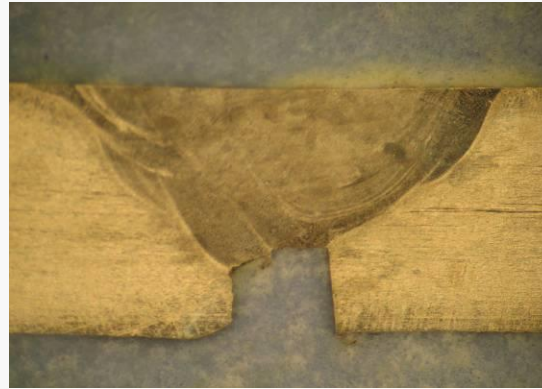


**Undichte  
Kühlergehäuse  
infolge  
ungenügender  
Zeichnungsangaben**

## Risse an den Quernähten bei den aufgeschweißten Verstärkungen

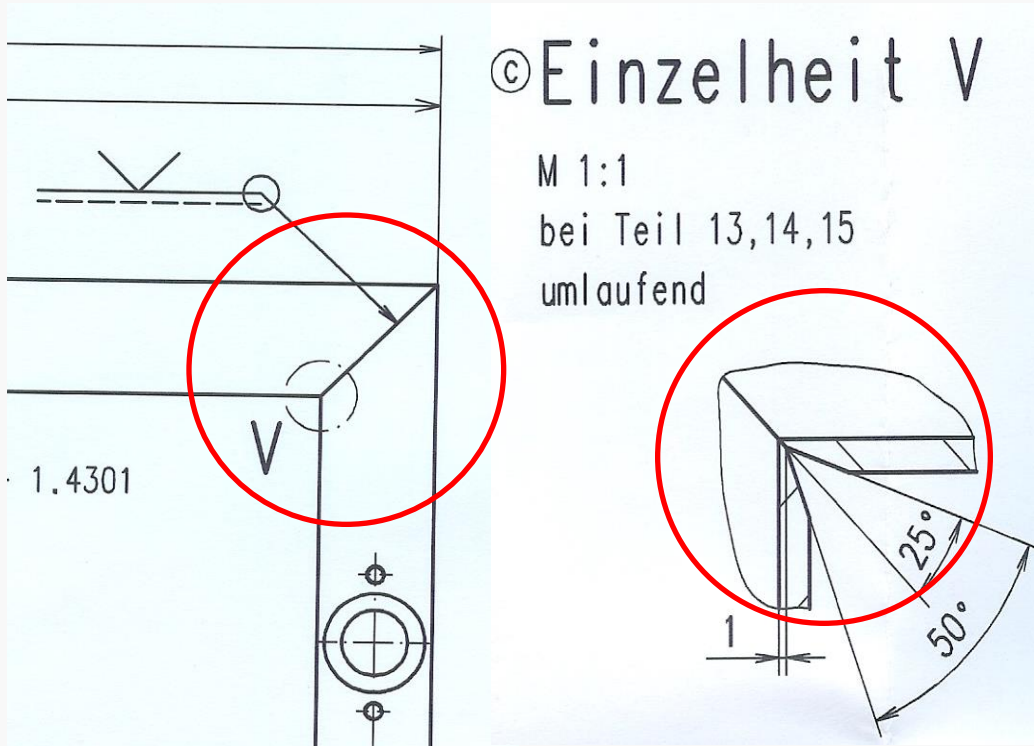


ungenügende  
Durchschweißung

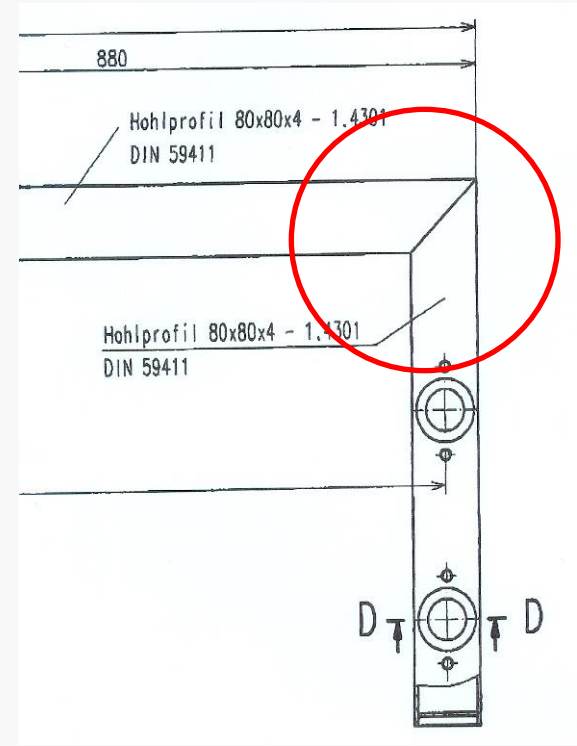




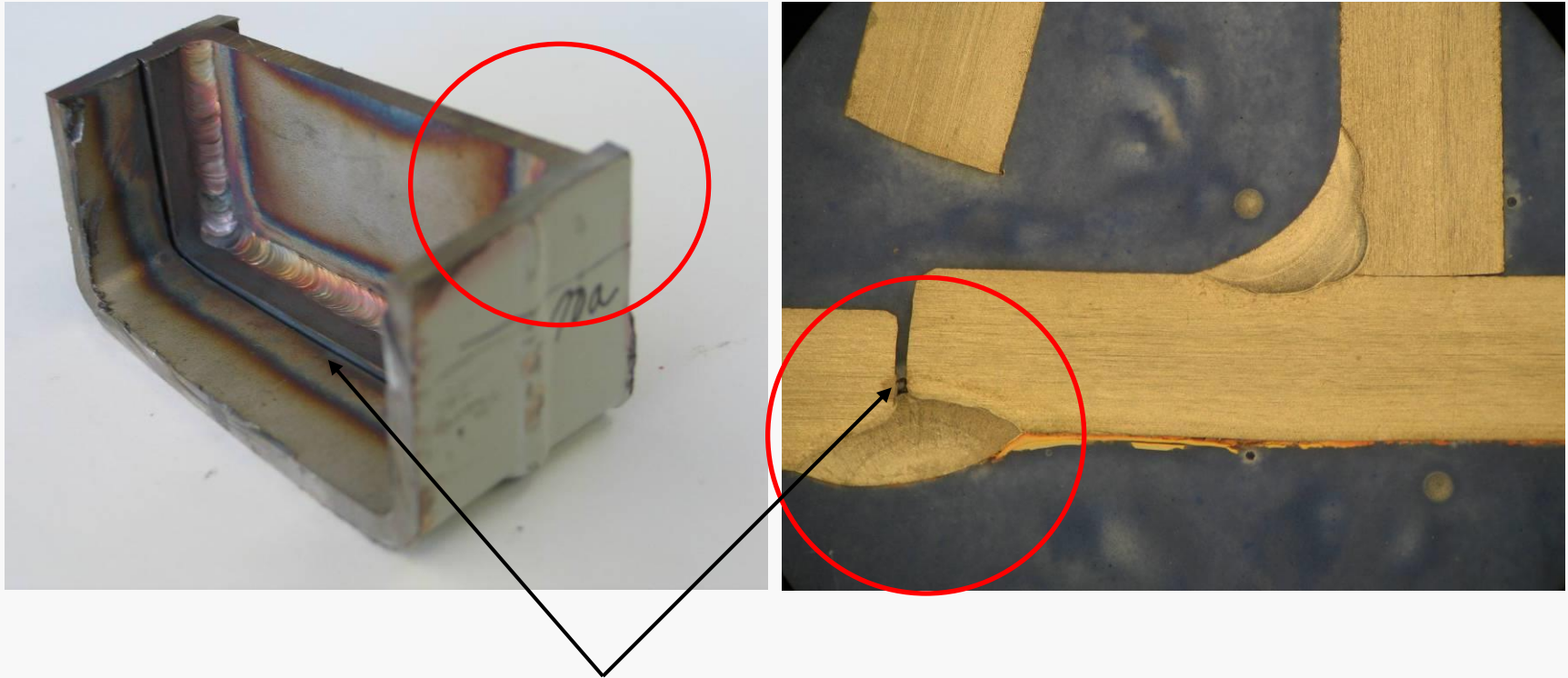
## Schaden an Kühlleitungen durch ungenügende Schwei nahtangaben



**Zeichnung mit exakten Angaben**



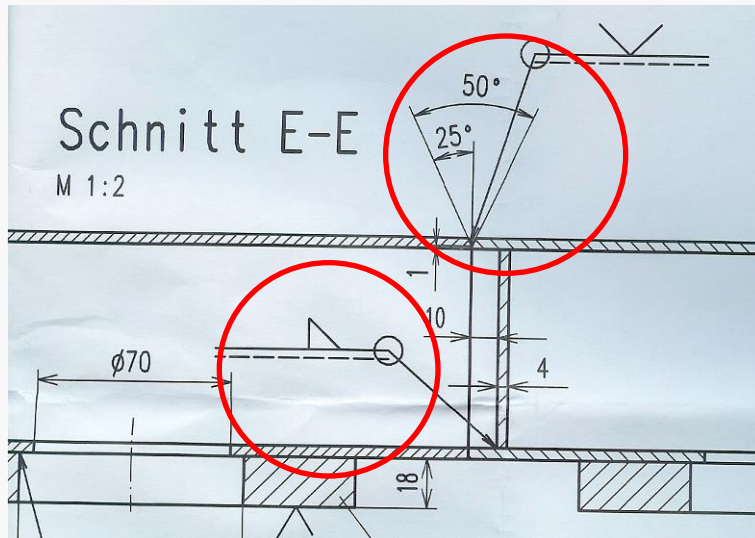
**Zeichnung ohne Angaben**



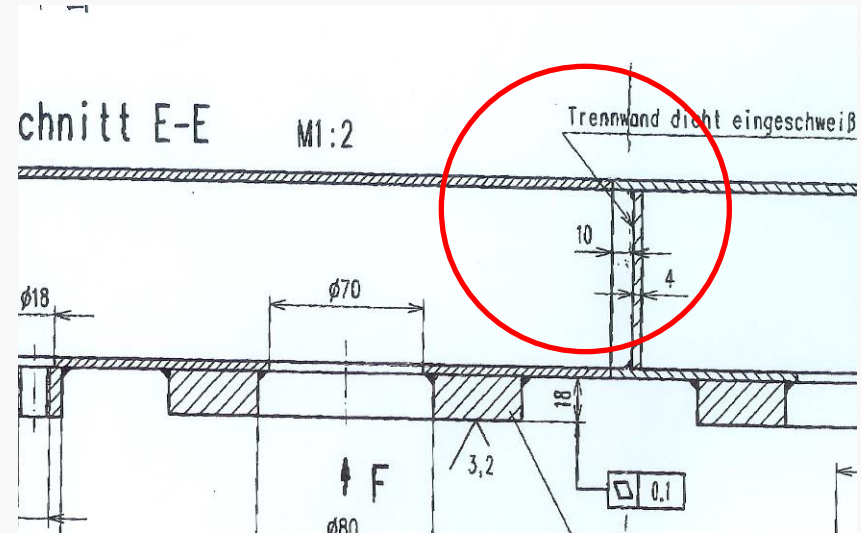
**Stumpfstoß nicht durchgeschweißt**



## Schaden an Kühlleitungen durch ungenügende Schweißnahtangaben



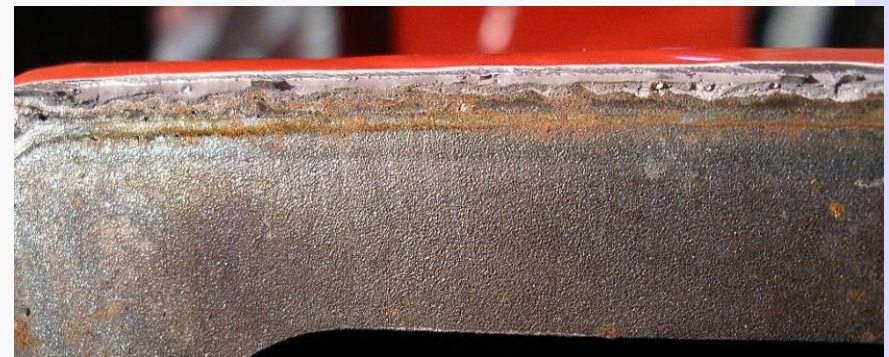
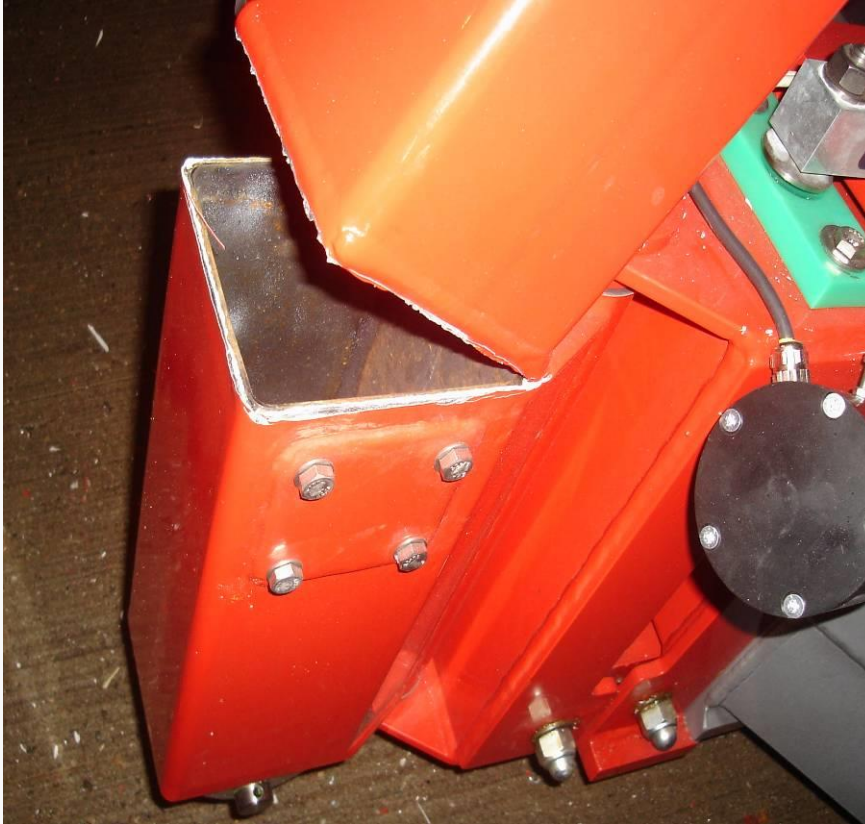
**Zeichnung mit exakten Angaben**



**Zeichnung ohne näheren Angaben**

## Umgekipptes Fahrzeug bringt gravierende Schweißnahtfehler zur Ansicht





**Gerissenes Tragrohr**



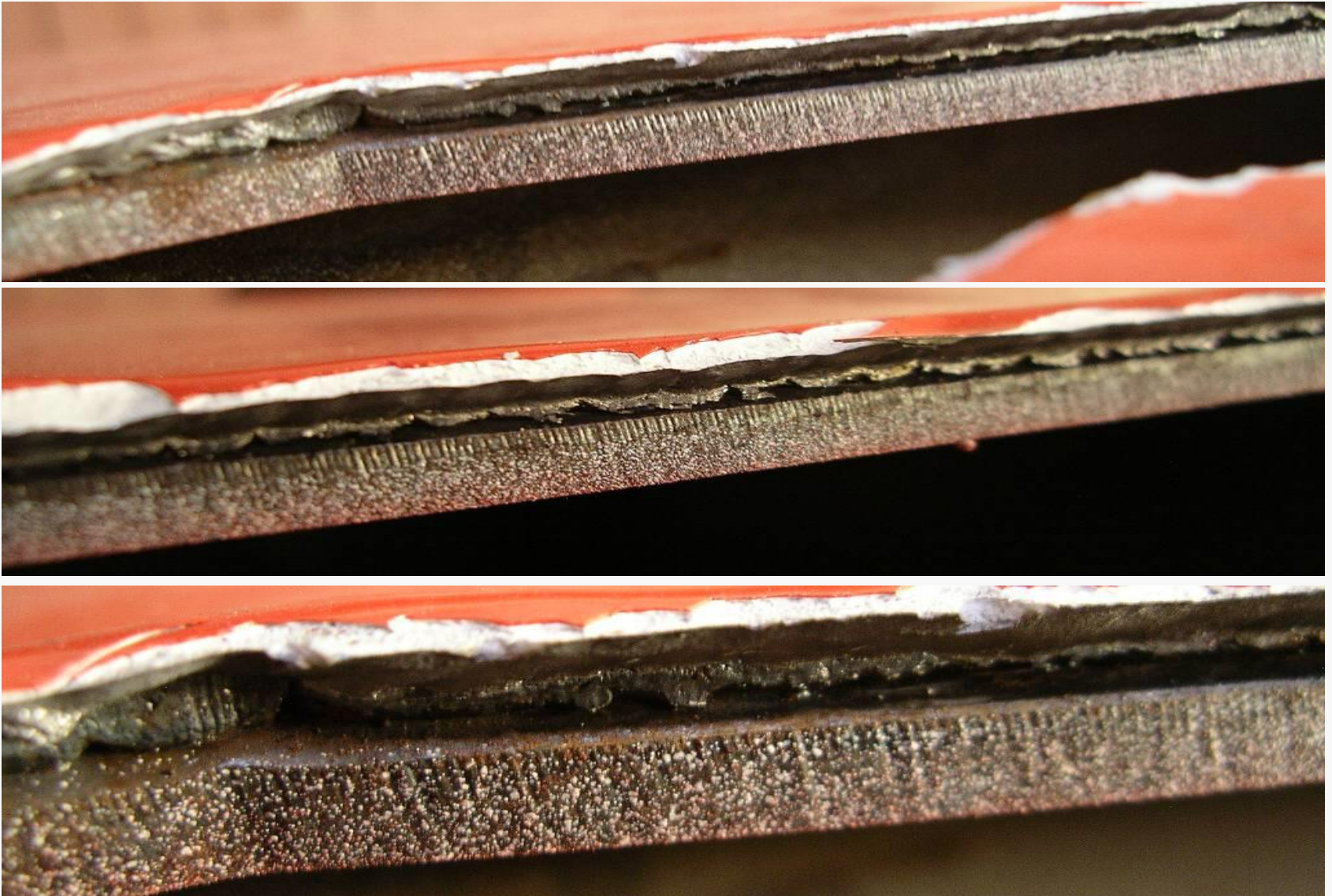


**Fast komplette Schweißkantenvorbereitung  
noch sichtbar, sowie Porennester**



**Eingerissenes Kopfstück**



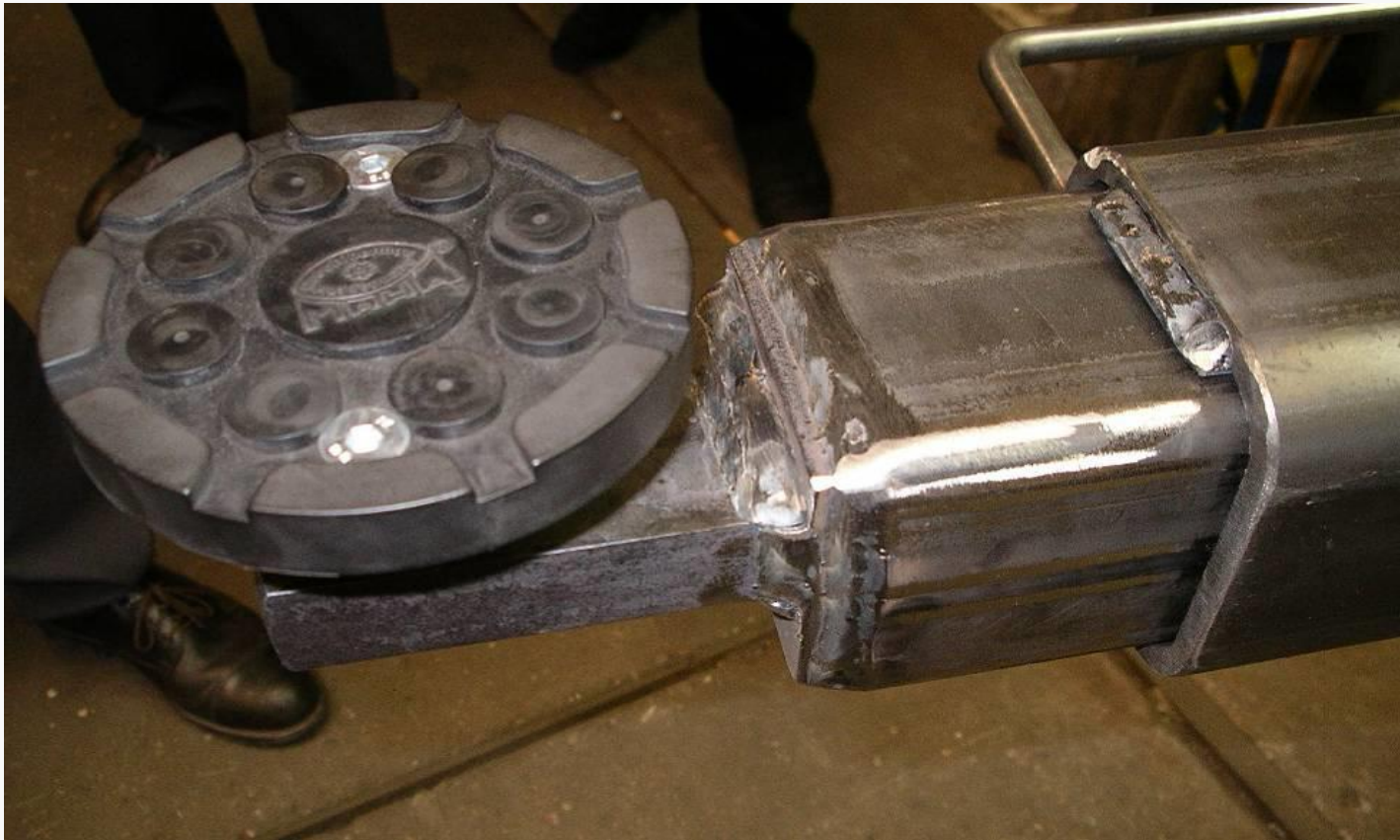




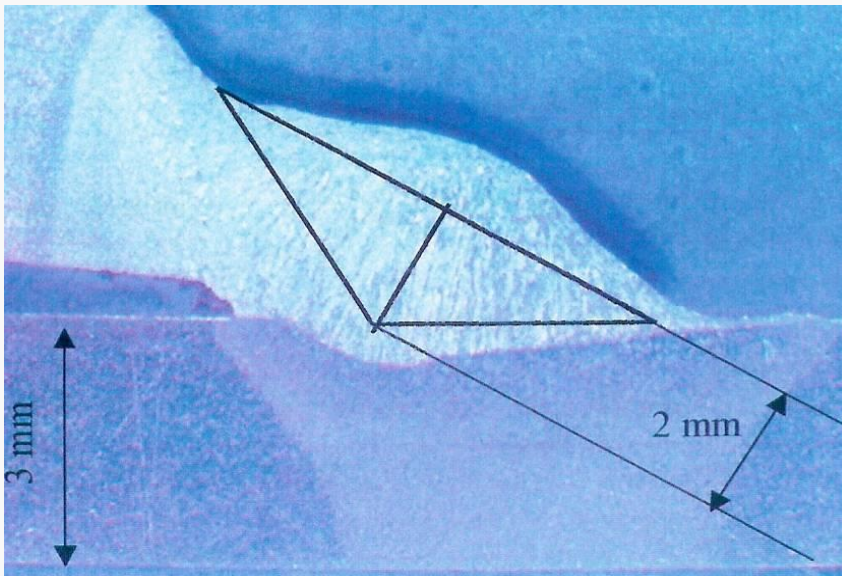
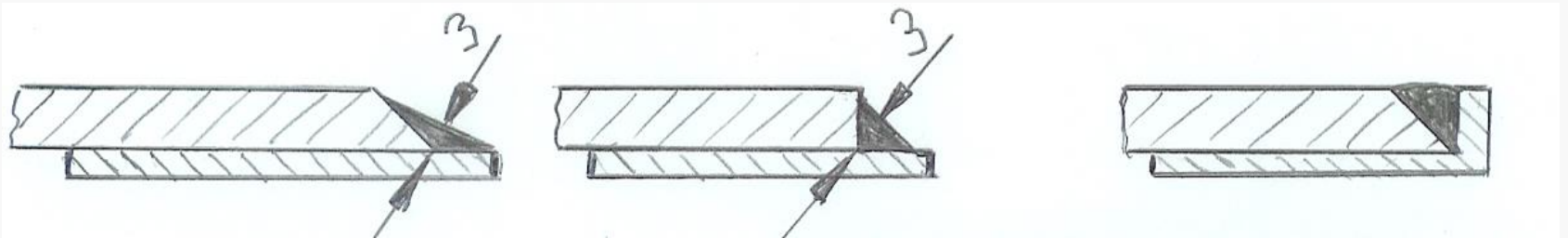


**Schaden an PKW -  
Hubarbeitsbühne**

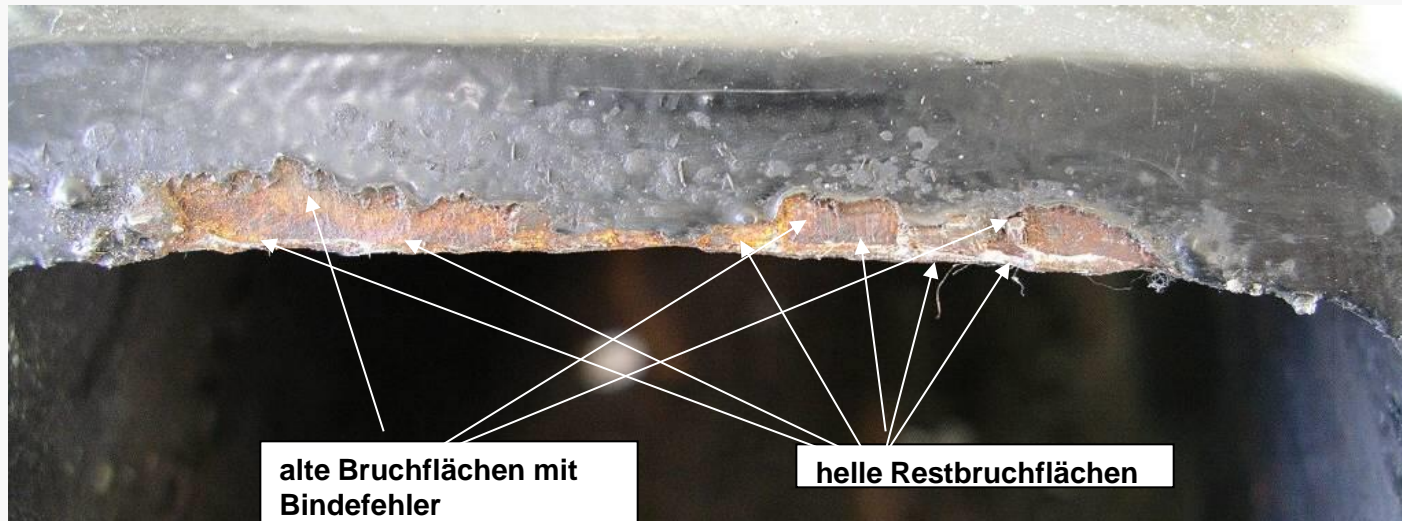
## Sicherungsblech an PKW - Hubarbeitsbühne



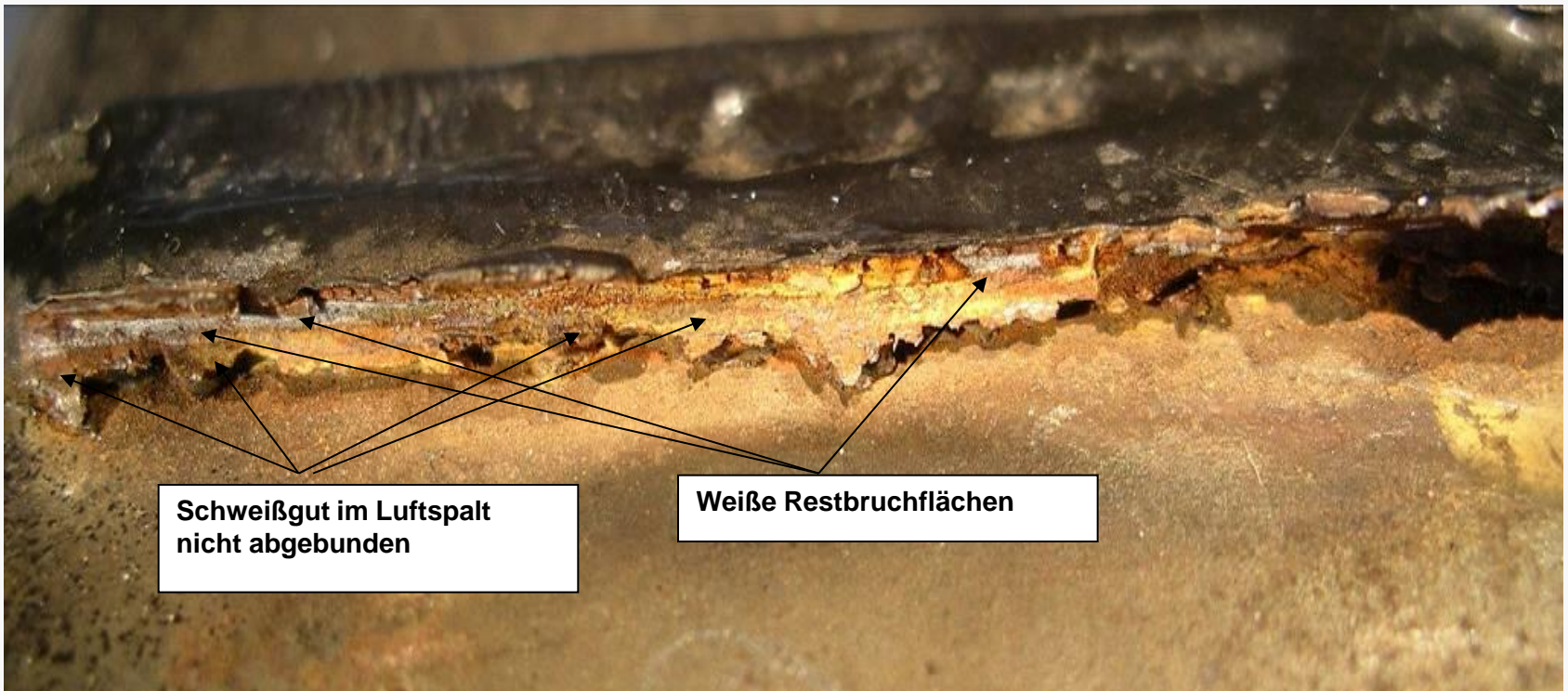
## Ausführungsformen der Anschweißung des Sicherungsbleches







## Schweißnaht - Bruchfläche

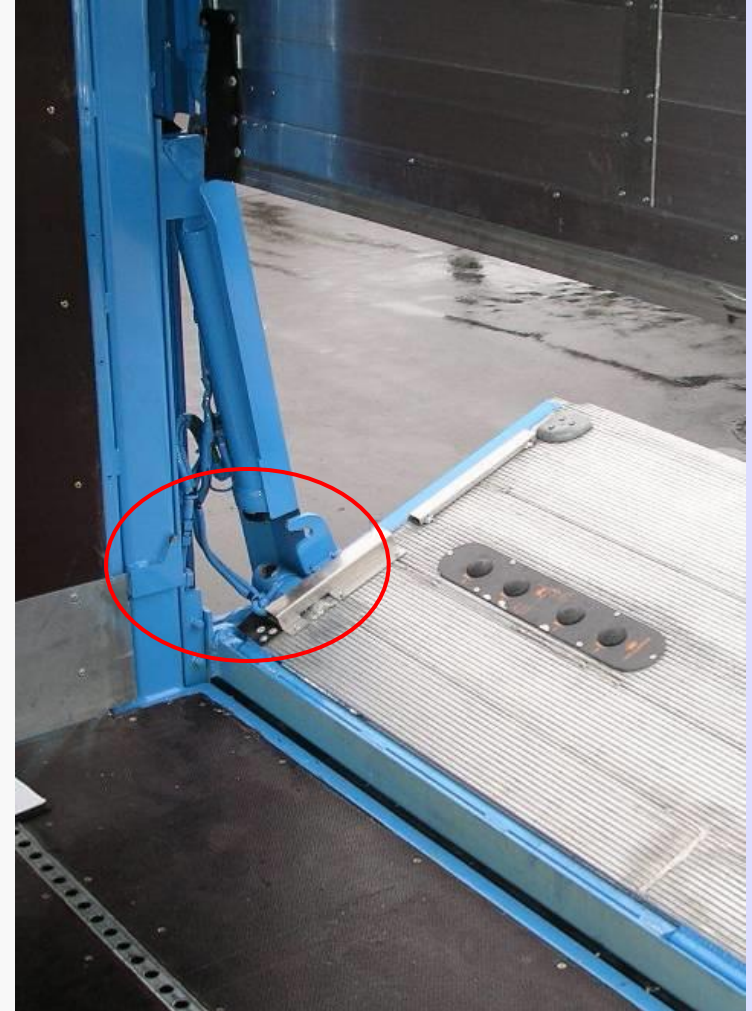


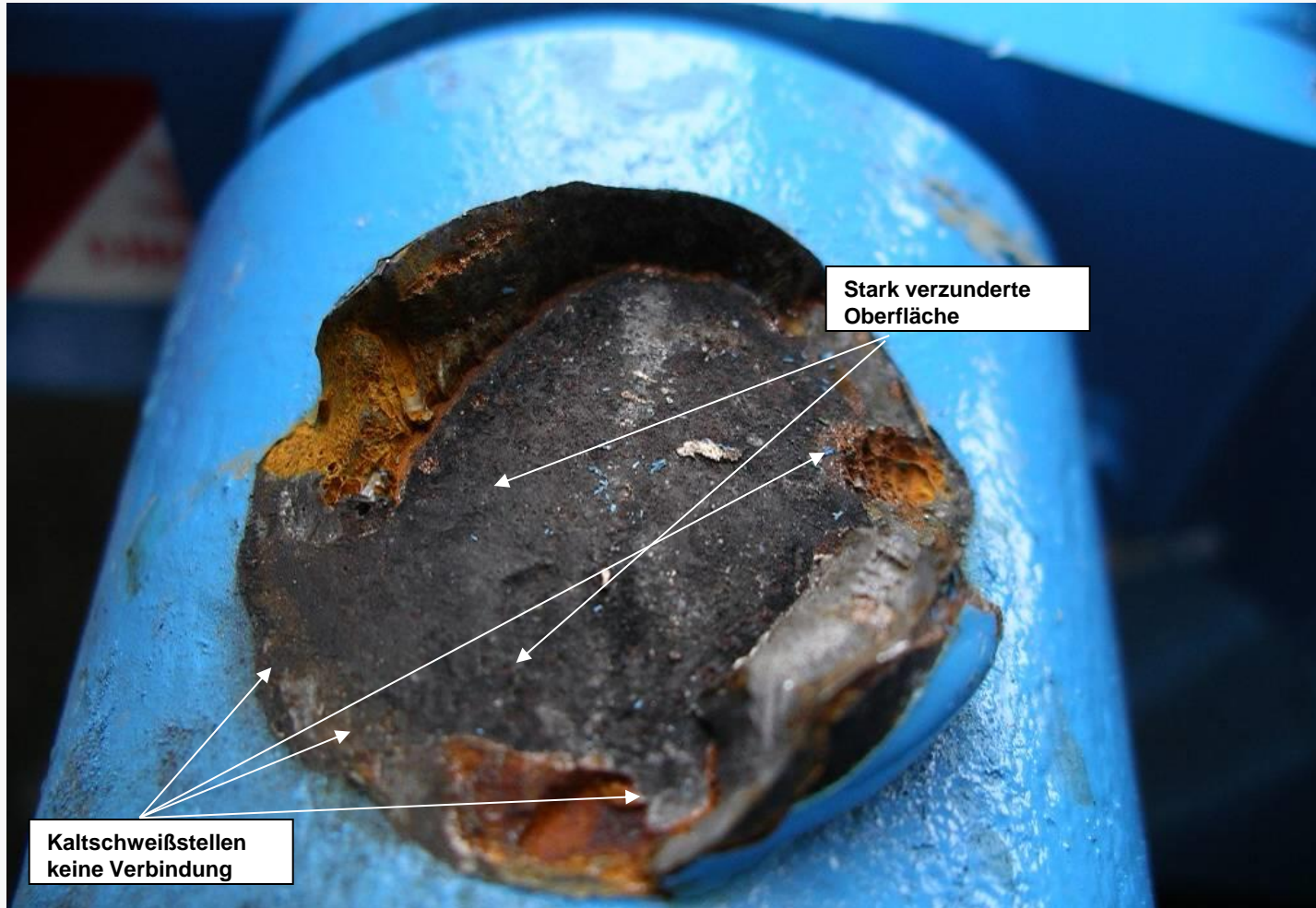


## Ansicht schadhafter Ausziehholm





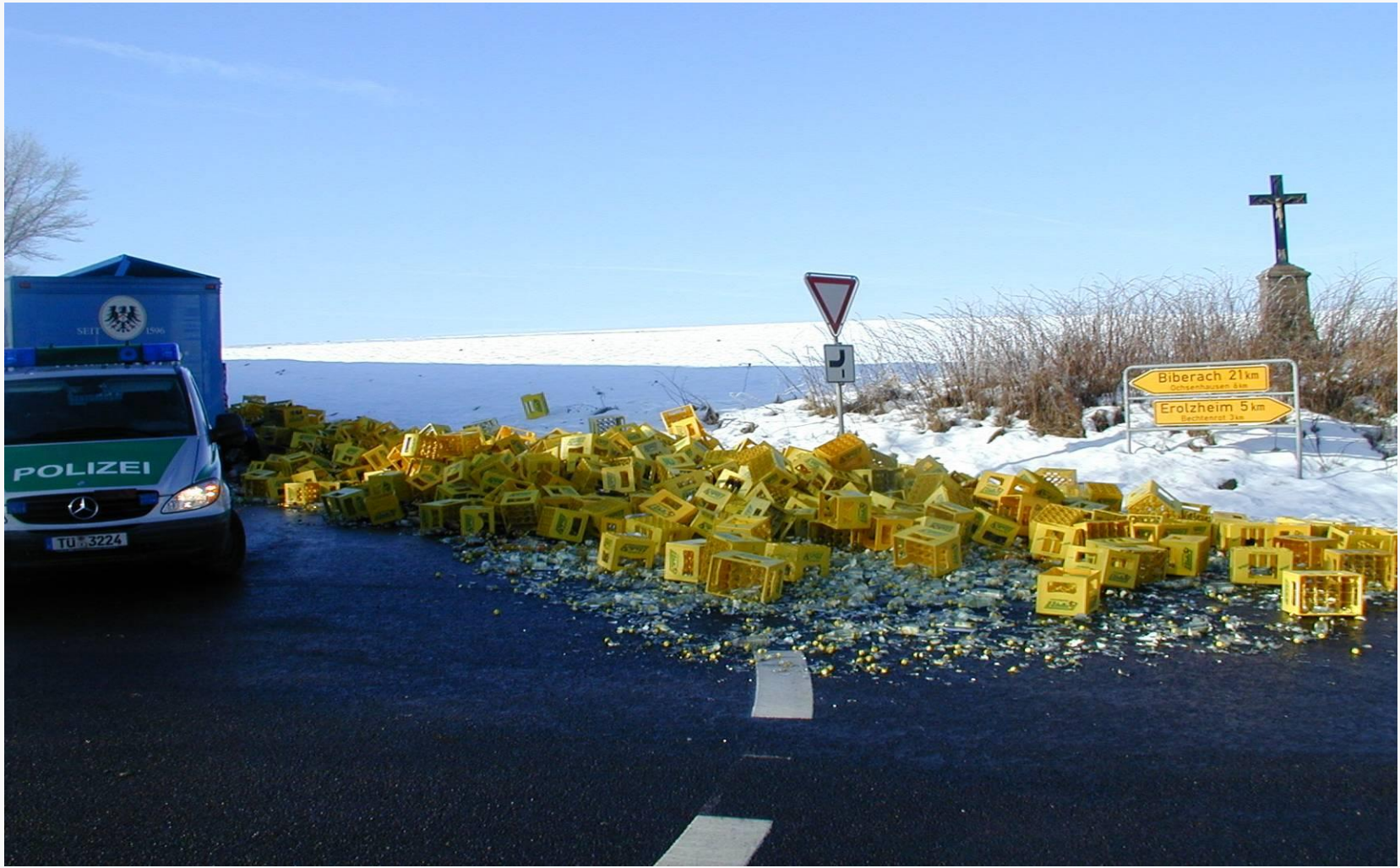






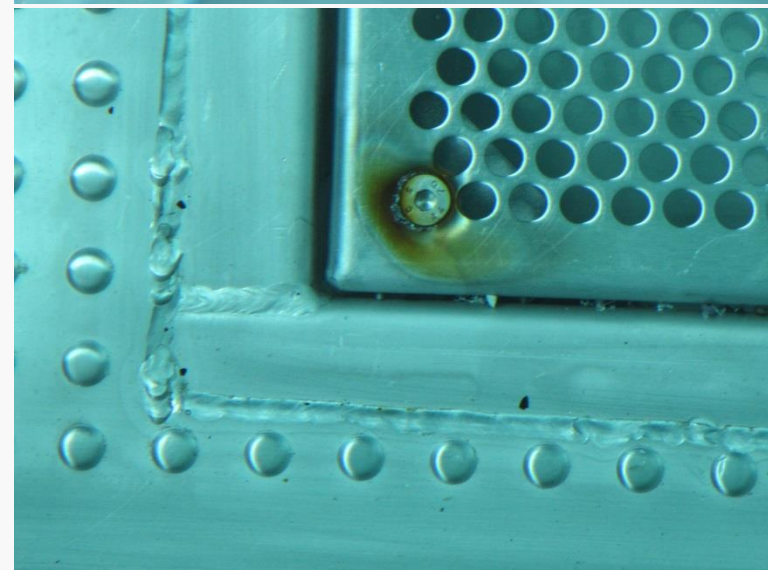
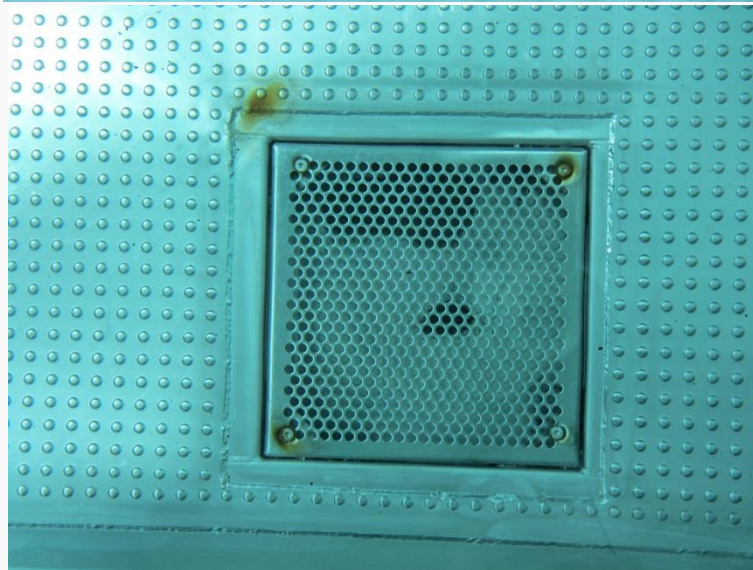
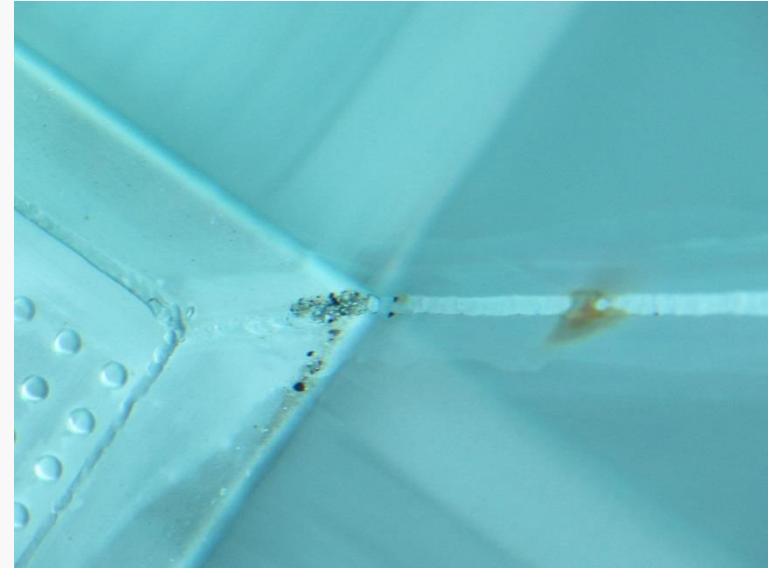
























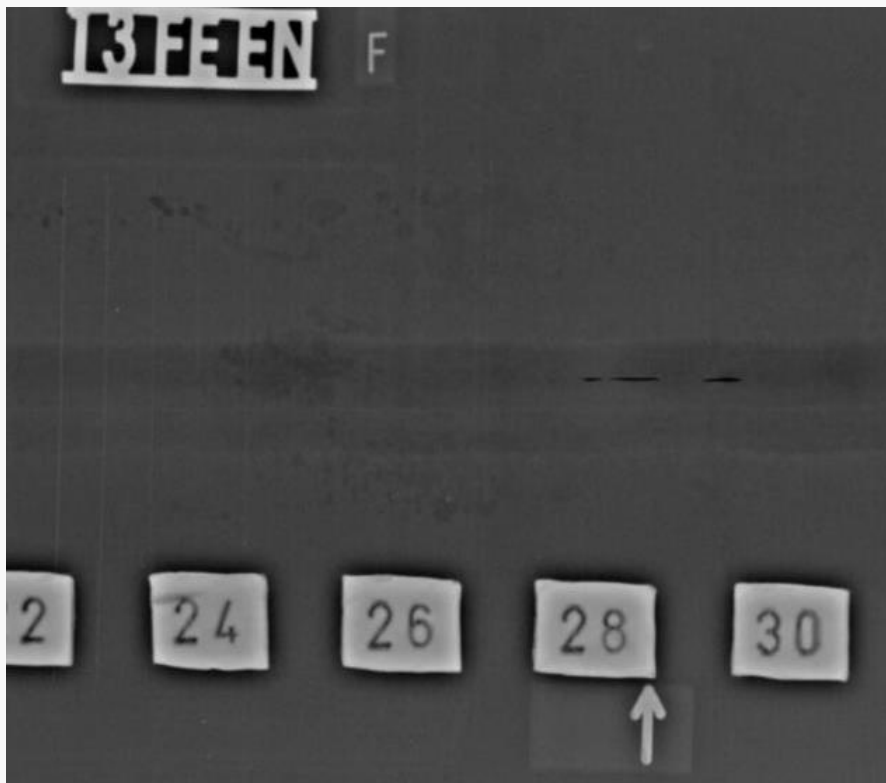
# Schadensfall – HFI geschweißte Längsnaht an Fernwärme-Rohrleitung

GEC



# Schadensfall – HFI geschweißte Längsnaht an Fernwärme-Rohrleitung

GEC

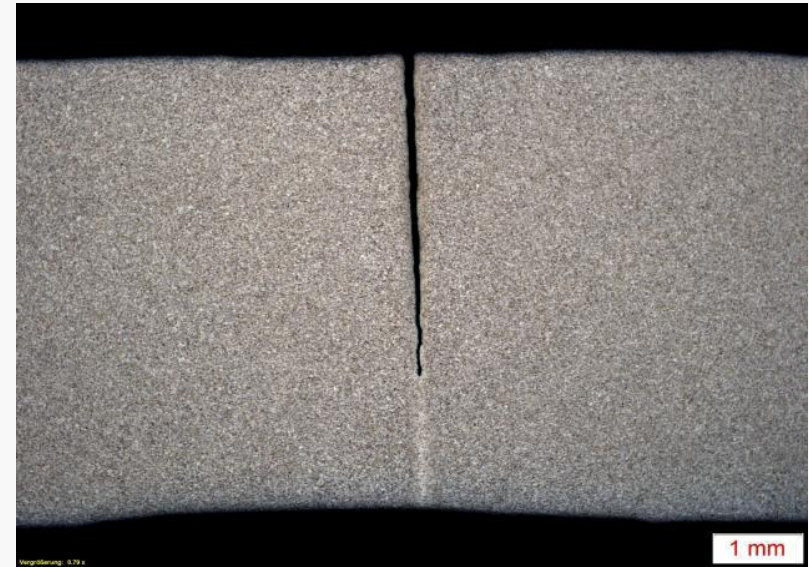
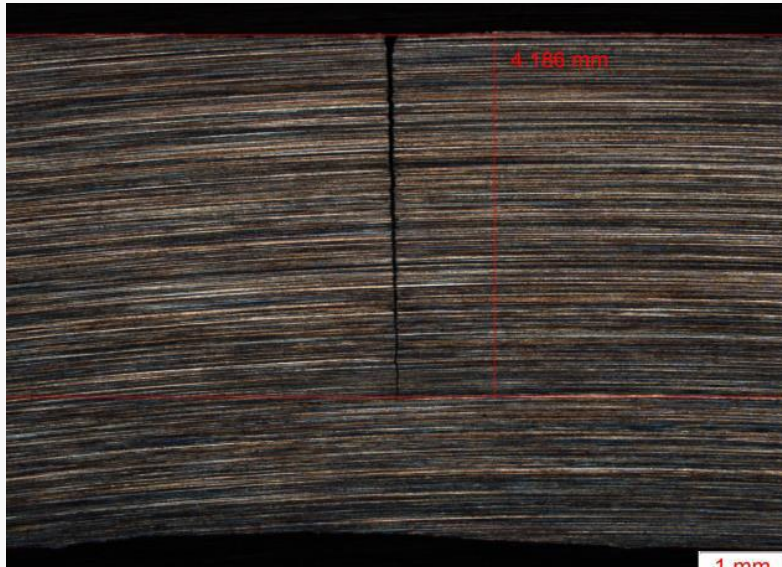


Fehler in RT bei Aufnahme und auch bei der MT-Prüfung gut erkennbar  
Es wurden drei undichten Stellen gefunden



# Schadensfall – HFI geschweißte Längsnaht an Fernwärme-Rohrleitung

GEC





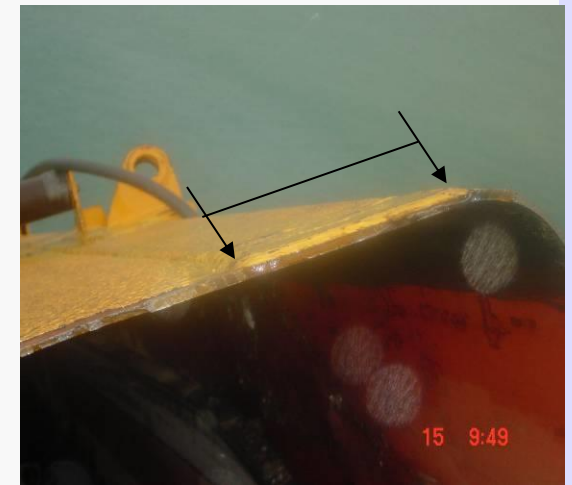
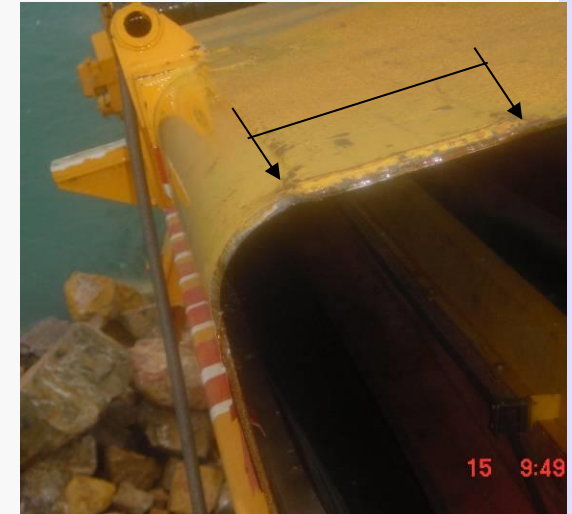
# Schadensfall – HFI geschweißte Längsnaht an Fernwärme-Rohrleitung

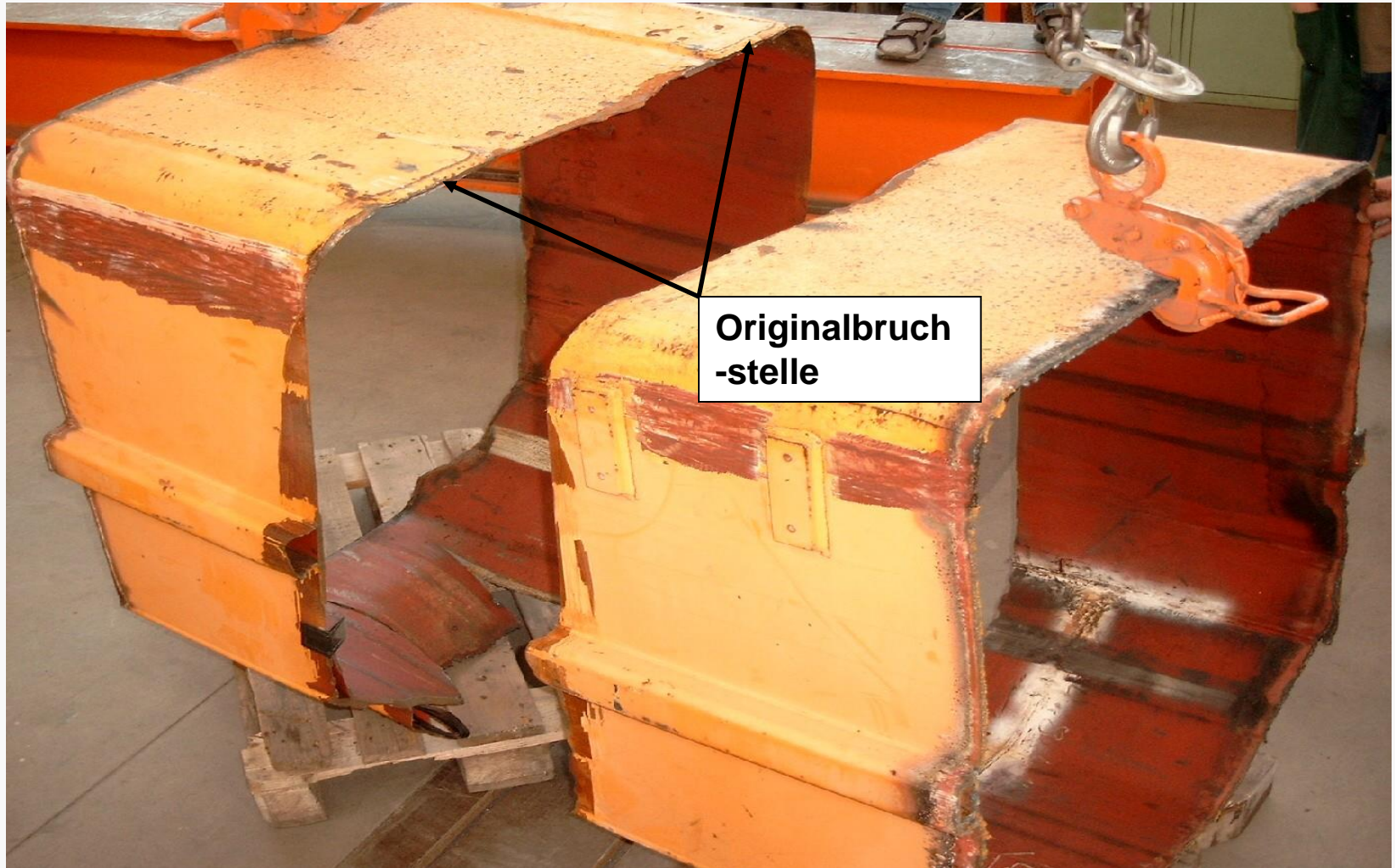
GEC





## Bruch eines Teleskopauslegers



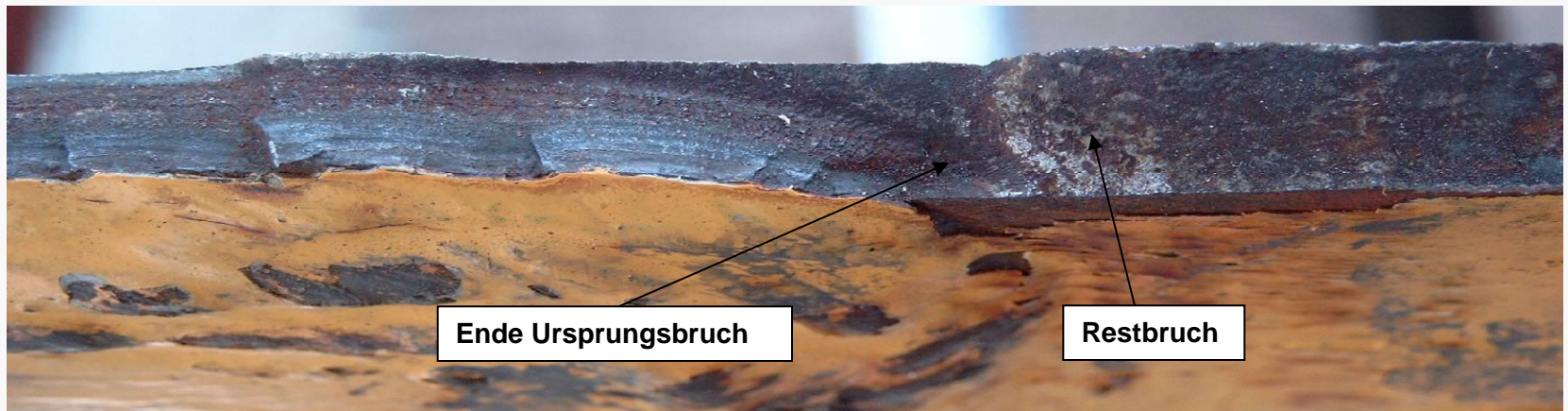




## Bruch Teleskopausleger – Aufschweißung Versteifungslamellen



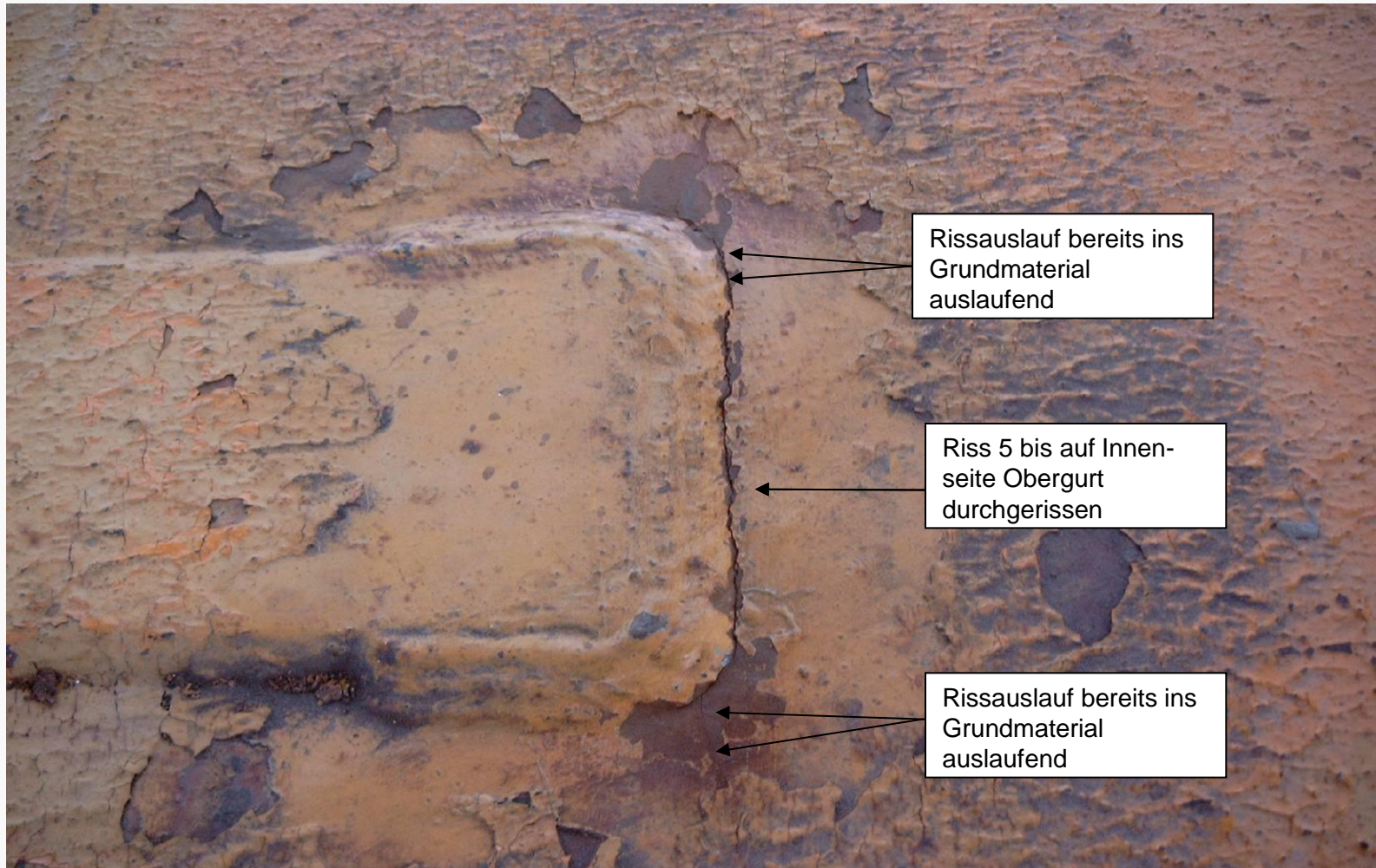
## Typischer Dauerbruch an der Quernaht des Versteifungsbleches



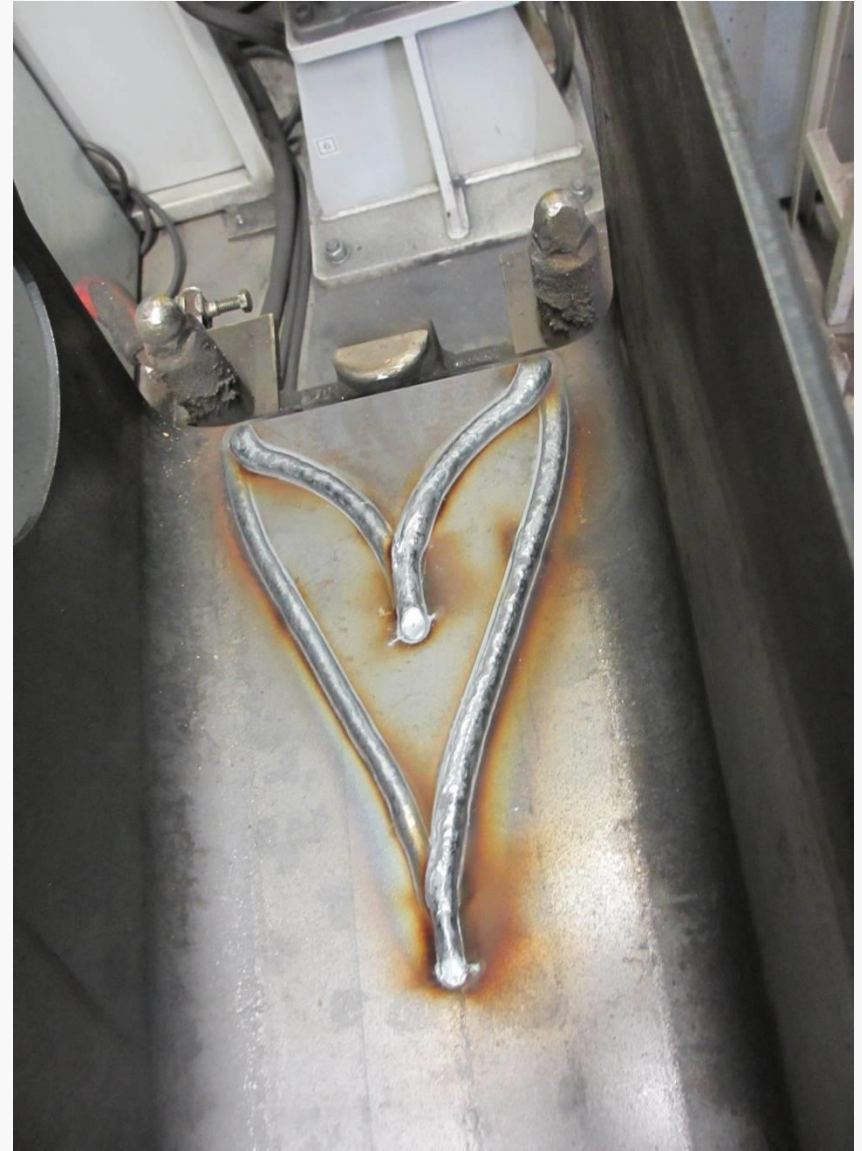




**Starke Rissanzeigen im Lack**







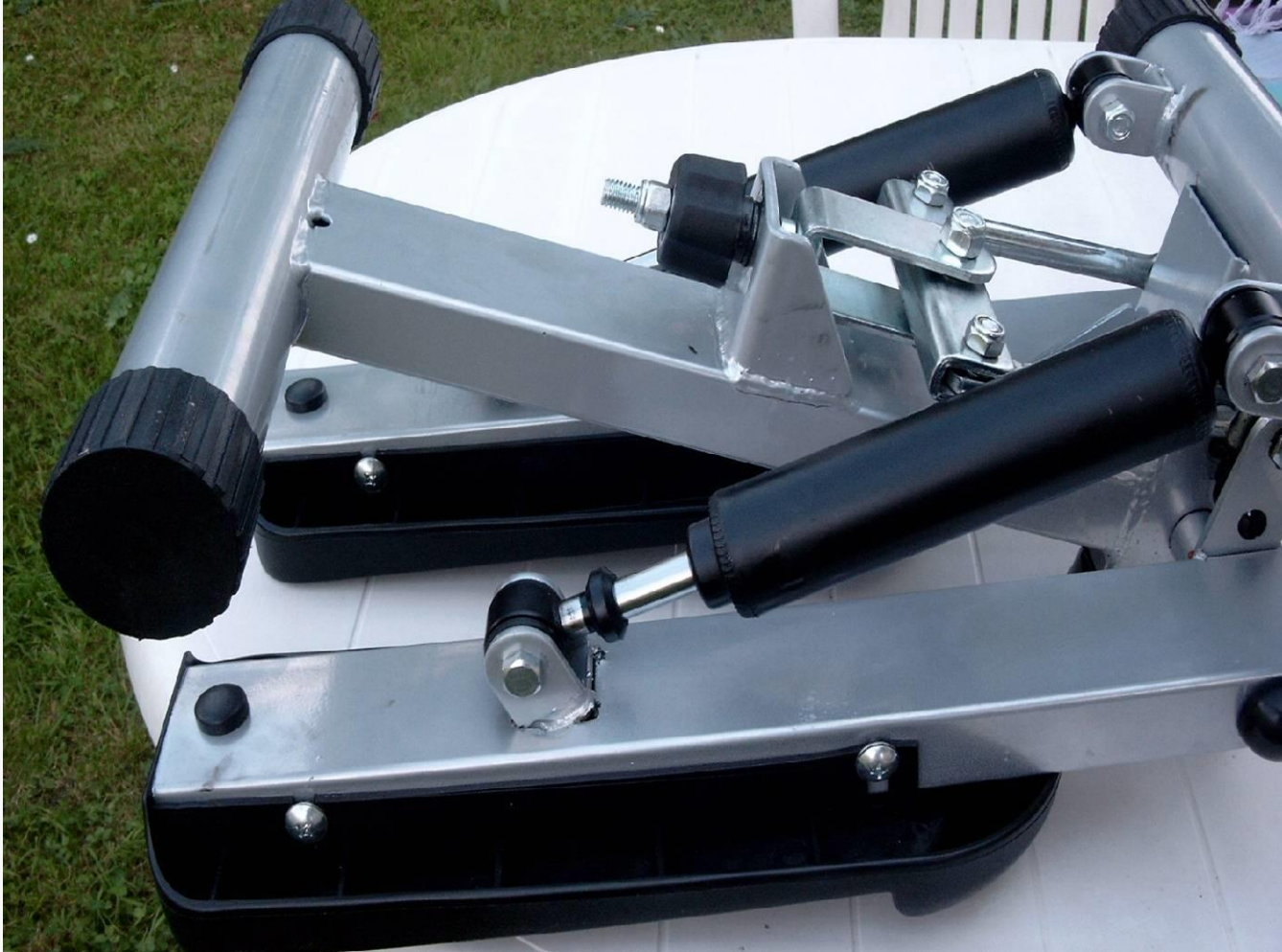






Haltewinkel für  
Bremszylinder  
an Stepper  
ausgebrochen

Ansicht rechte  
untere Seite

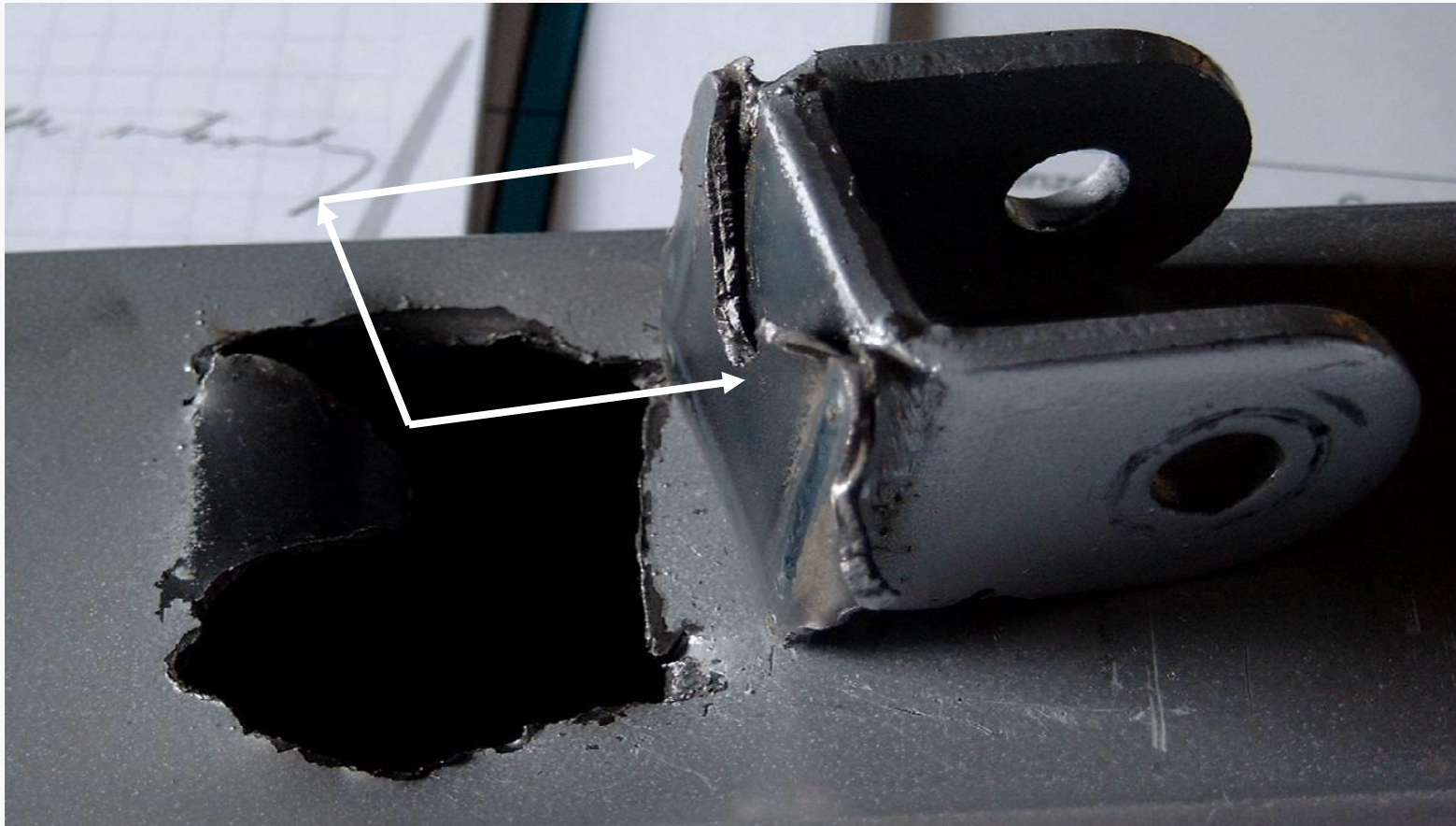


Haltewinkel für  
Bremszylinder  
an Stepper  
angebrochen

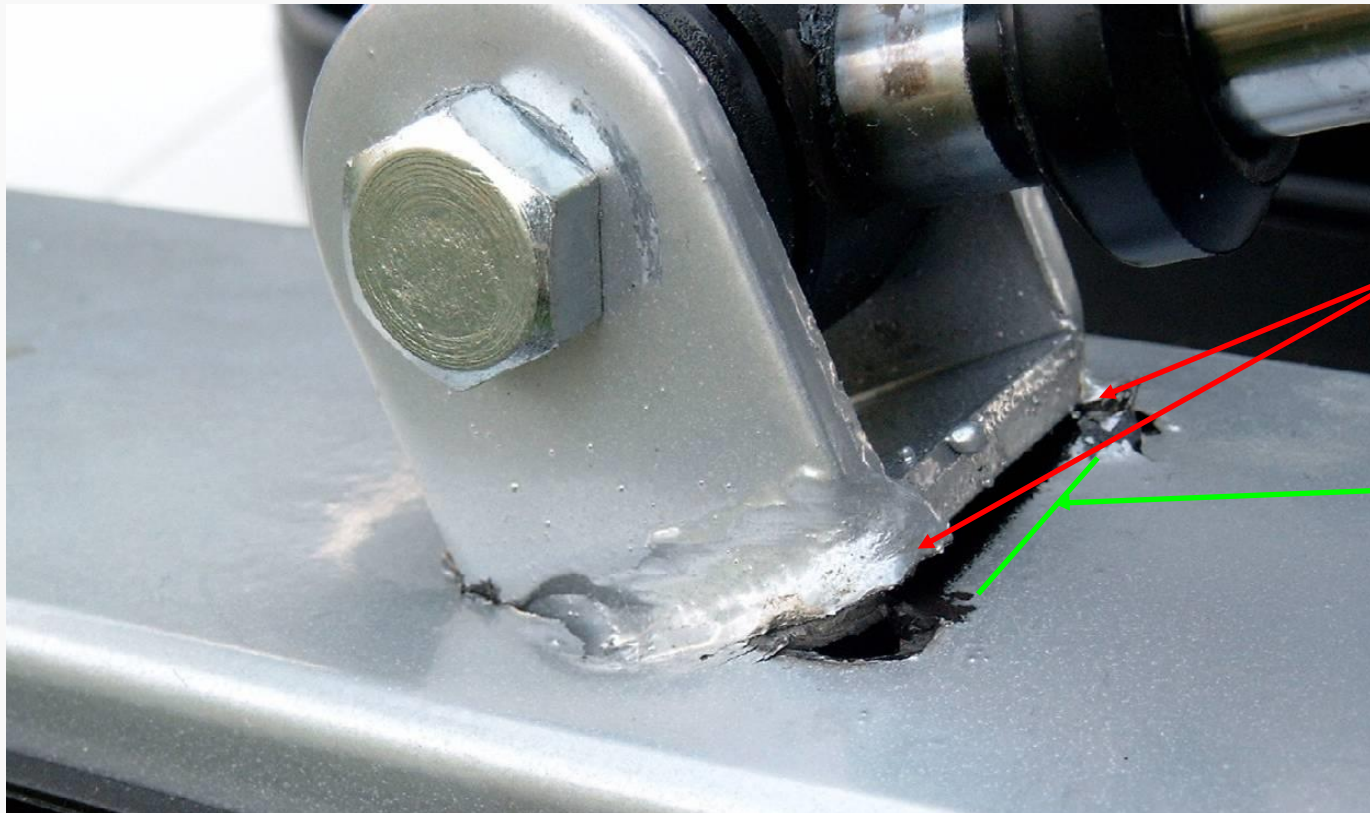
Ansicht linke  
untere Seite



## Ausgerissener Haltewinkel



## Ausgebrochener Haltewinkel an Heimstepper



Rissanfang  
durch  
Schweißnaht-  
beginn

in diesem  
Bereich keine  
Schweißnaht

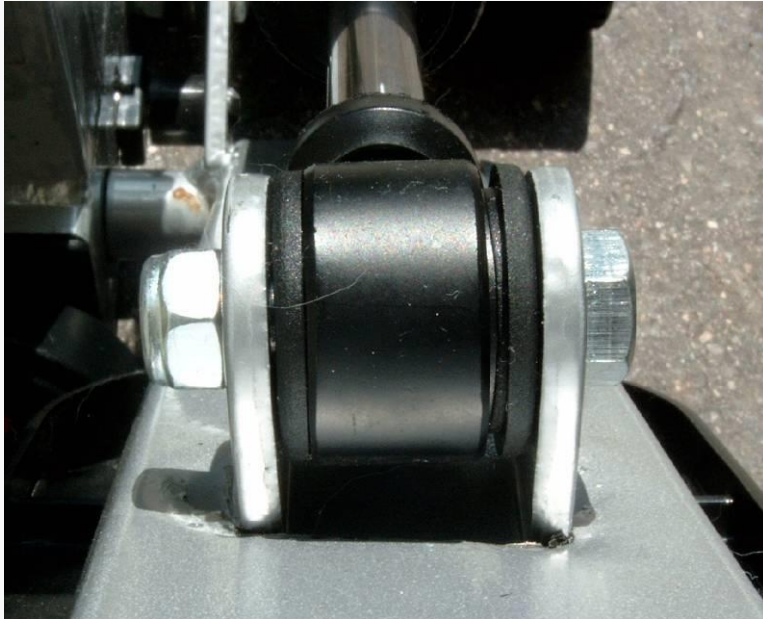


linker Schweißnahtanfang



rechter Schweißnahtanfang





Durchgehende  
Schweißnaht im  
Zugbereich des Winkels

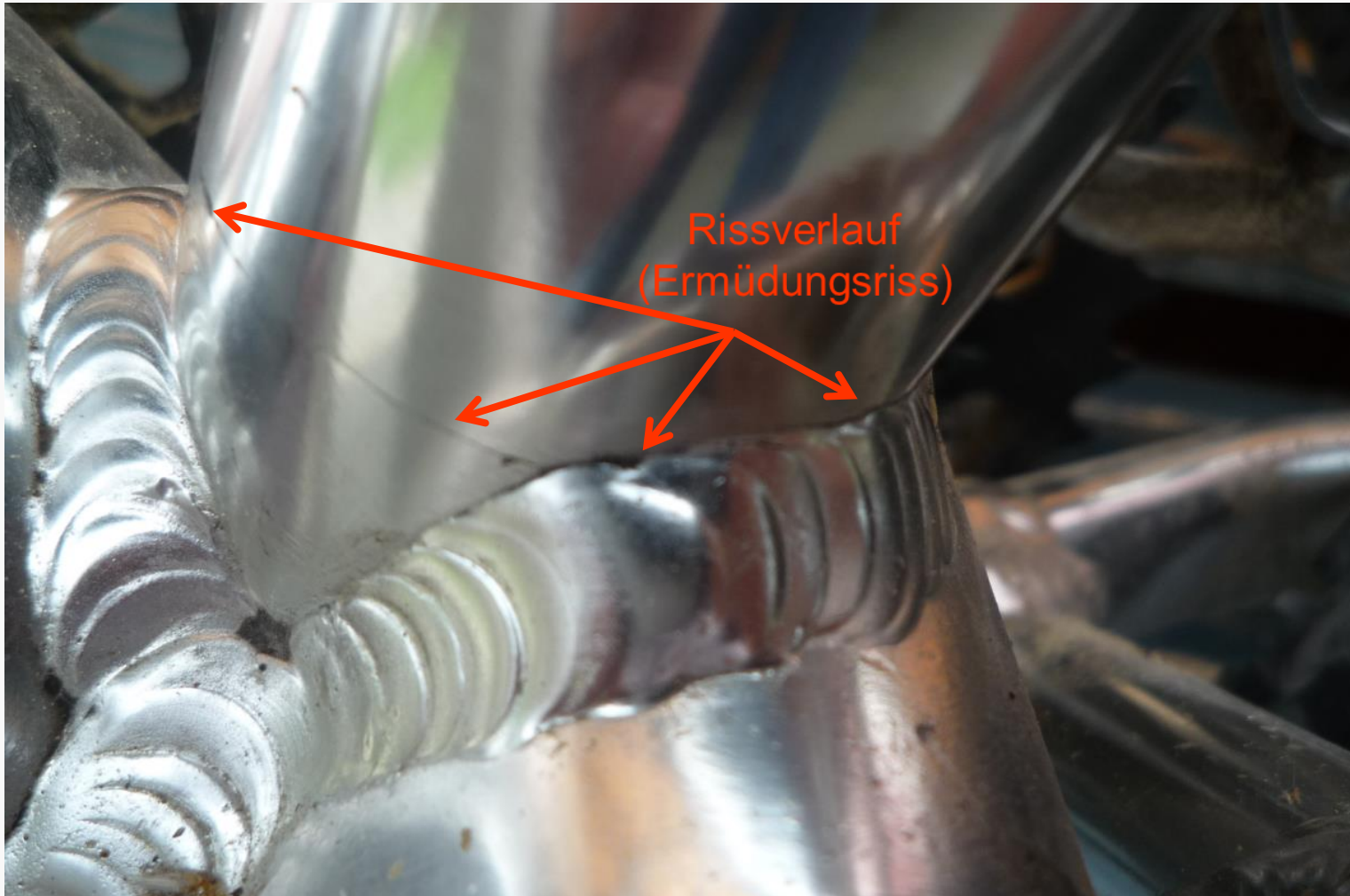


## Dauerbruch durch dyn. Belastung eines Heimtrainers

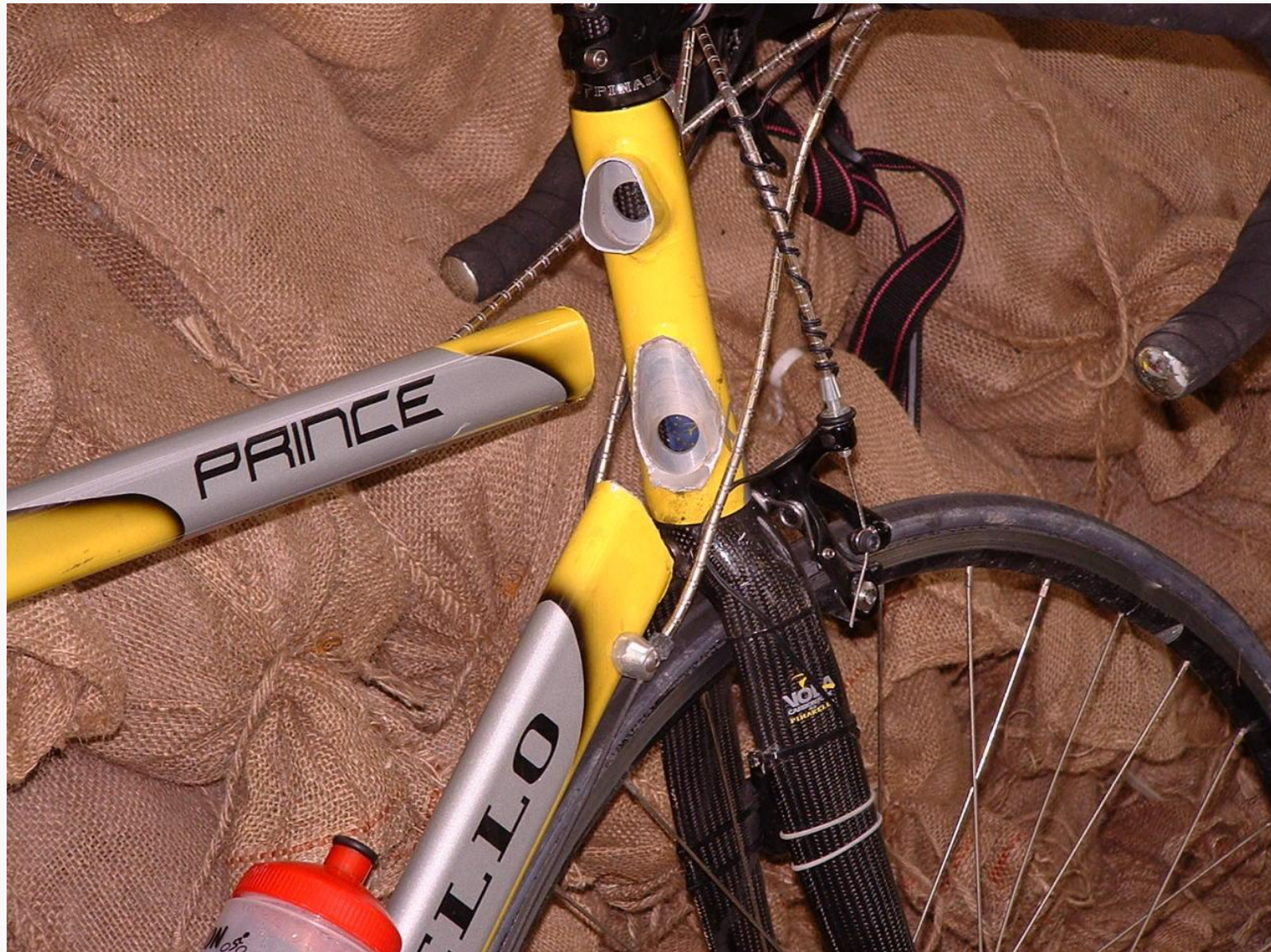


Typischer Dauerbruch durch wechselnde Beanspruchung

## Ermüdungsriß an einem Alu-Fahrradrahmen













## Eingeknickter Teleskopausleger eines Mobilkranes



## Eingeknickter Teleskopausleger eines Mobilkranes



Gesamtansicht  
der Baustelle



## Eingeknickter Teleskopausleger eines Mobilkranes



Gesamtansicht  
des reparierten  
Kranes



## Verschiedene Ausklappzustände des Hilfsaulegers





**Risse in Konsole mit  
gebrochenen Bolzen**

Darstellung des gebrochenen Tragbolzen mit Rissen in Konsole

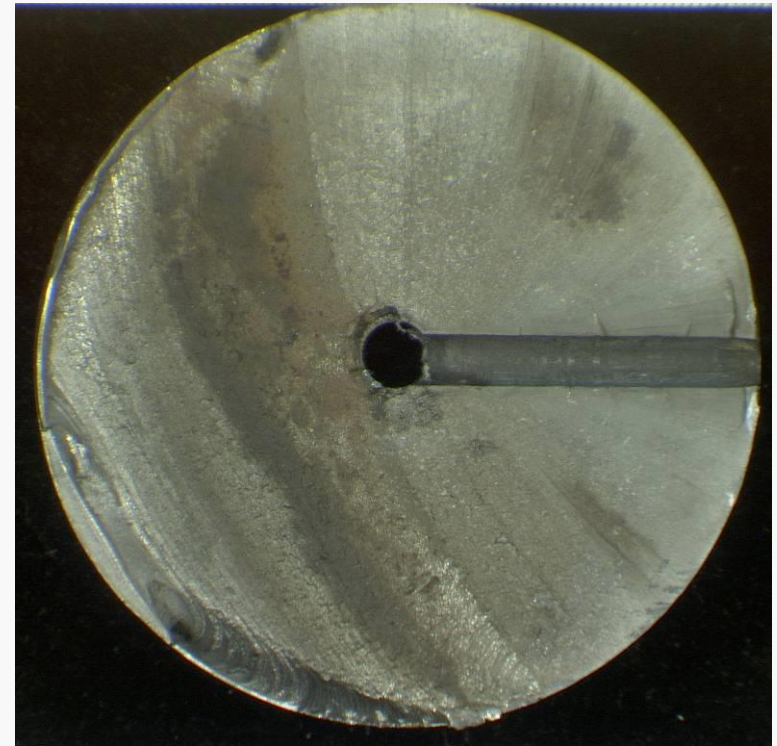


**Bolzen in der Mitte  
abgerissen**

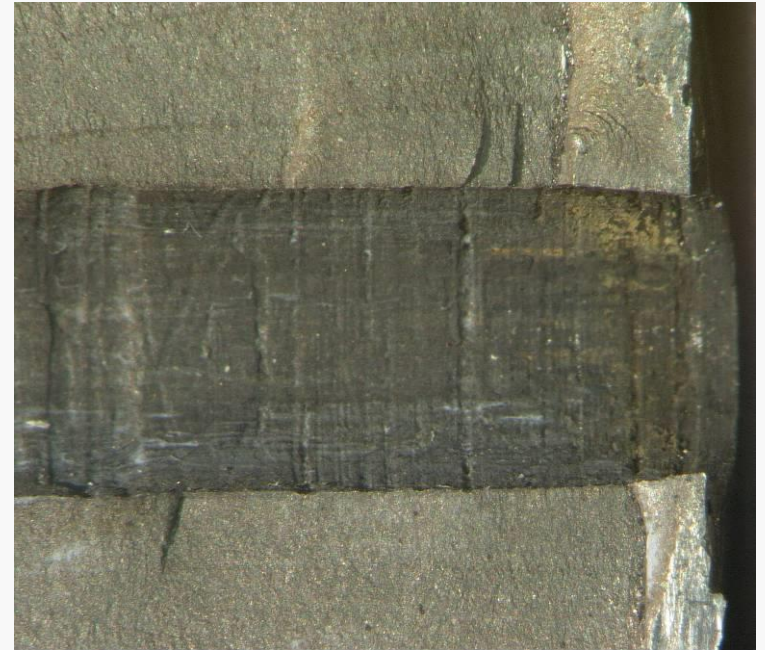
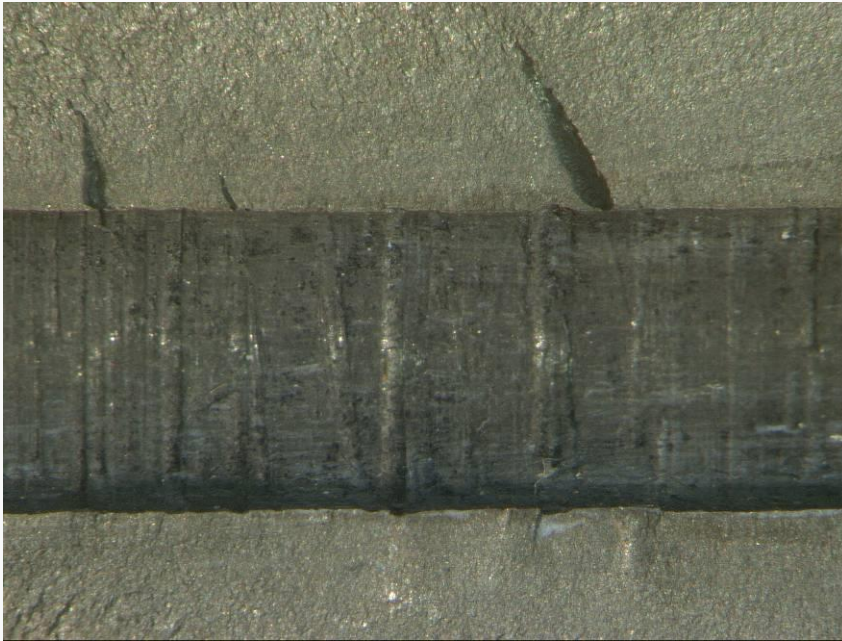
**Konsole beidseitig  
eingerissen**



**Unfallursache ist der Dauerbruch infolge ungünstiger Schmiernut-Anordnung und starken Bearbeitungsriefen**



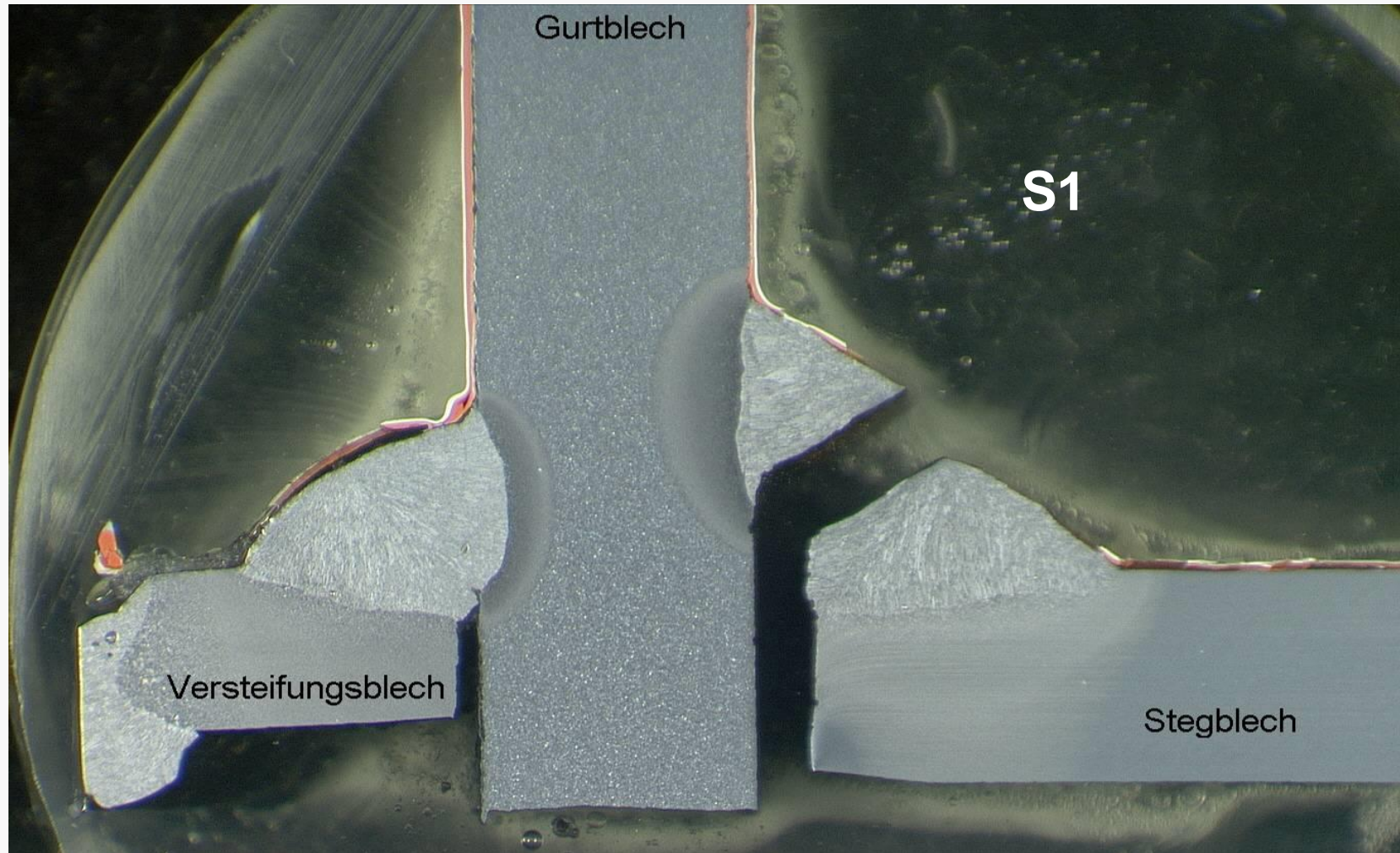
## starke Bearbeitungsriefen in der Schmierbohrung als Bruchauslöser



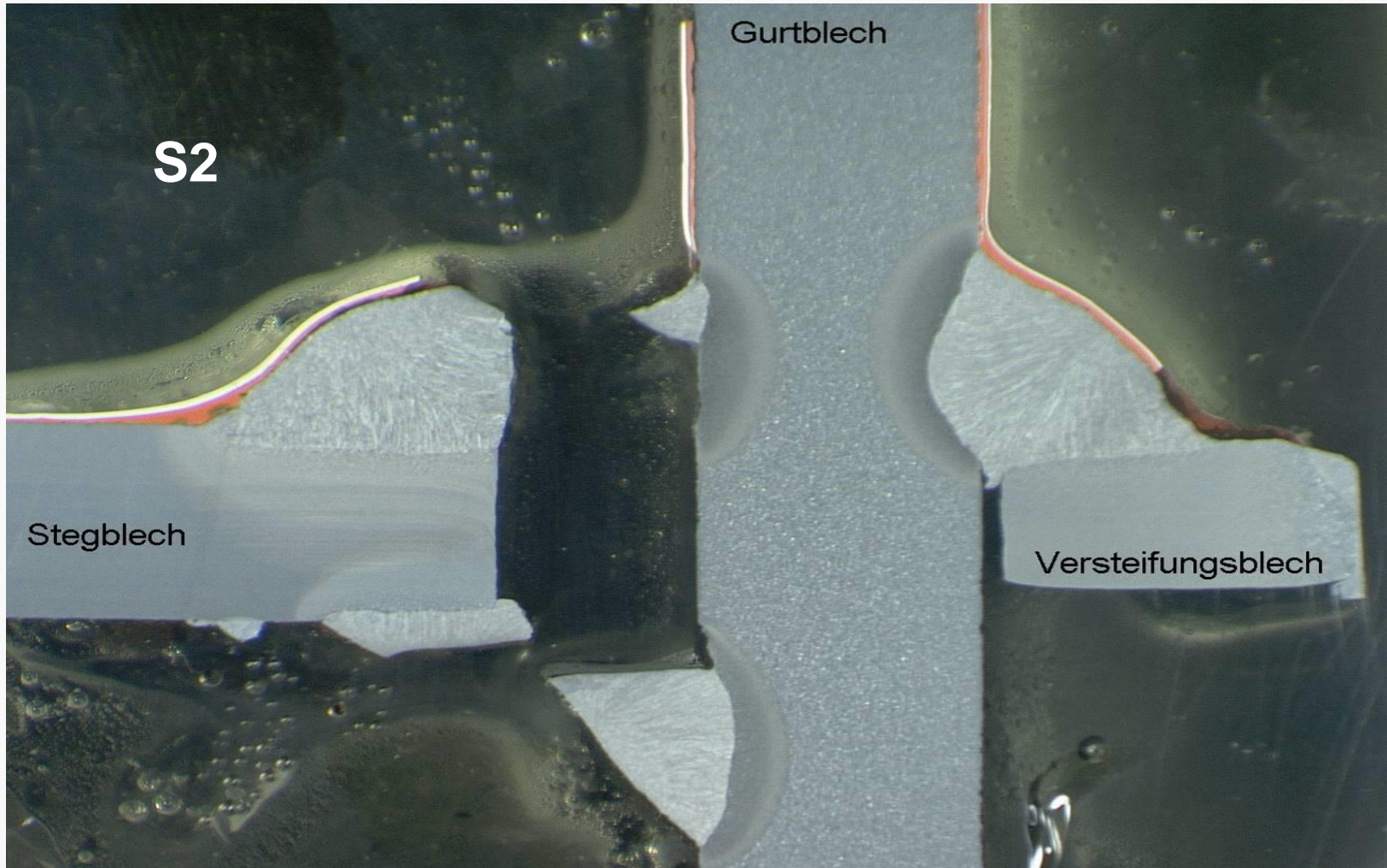


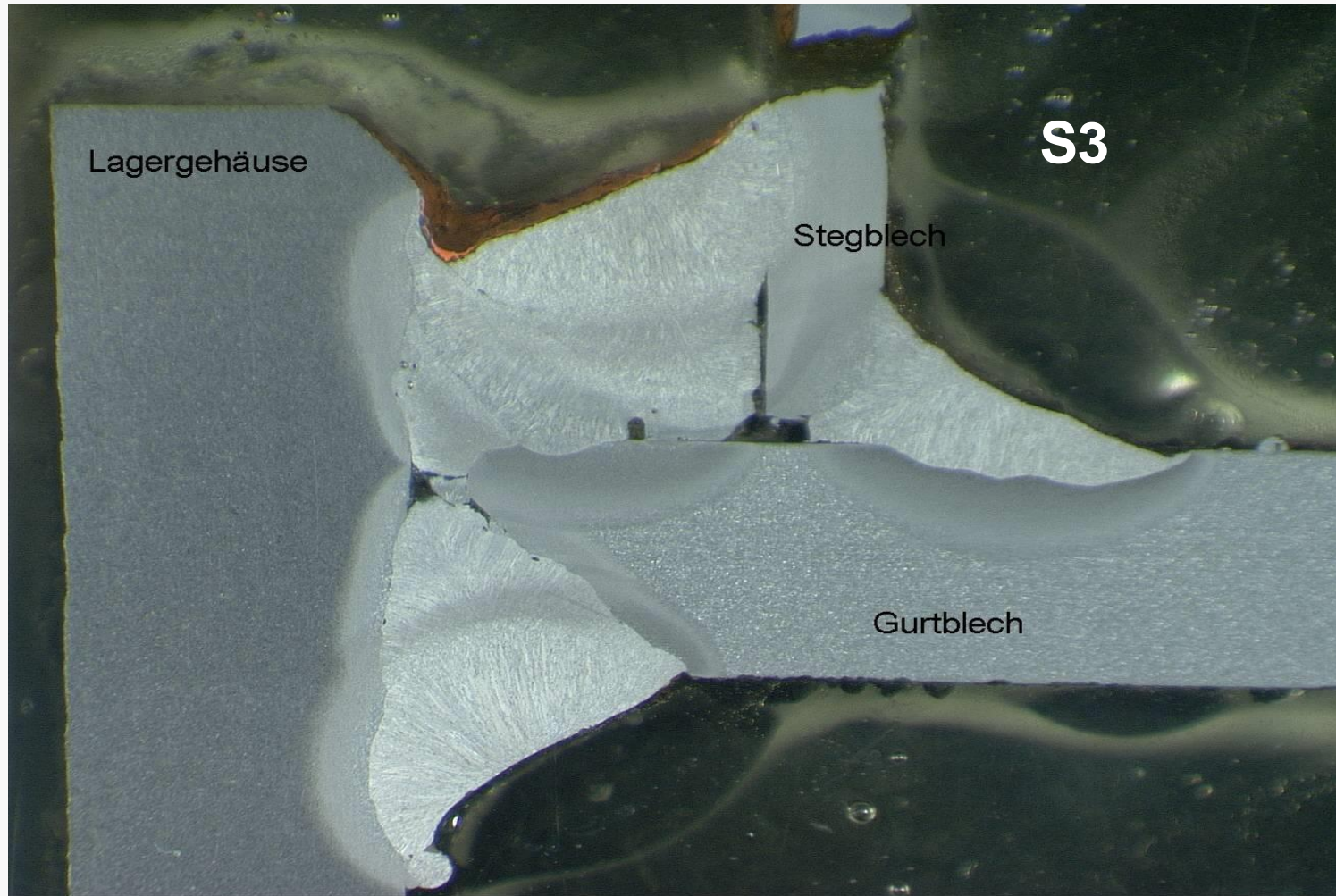


**Lage der entnommenen Schliffbilder S1, S2, S3**

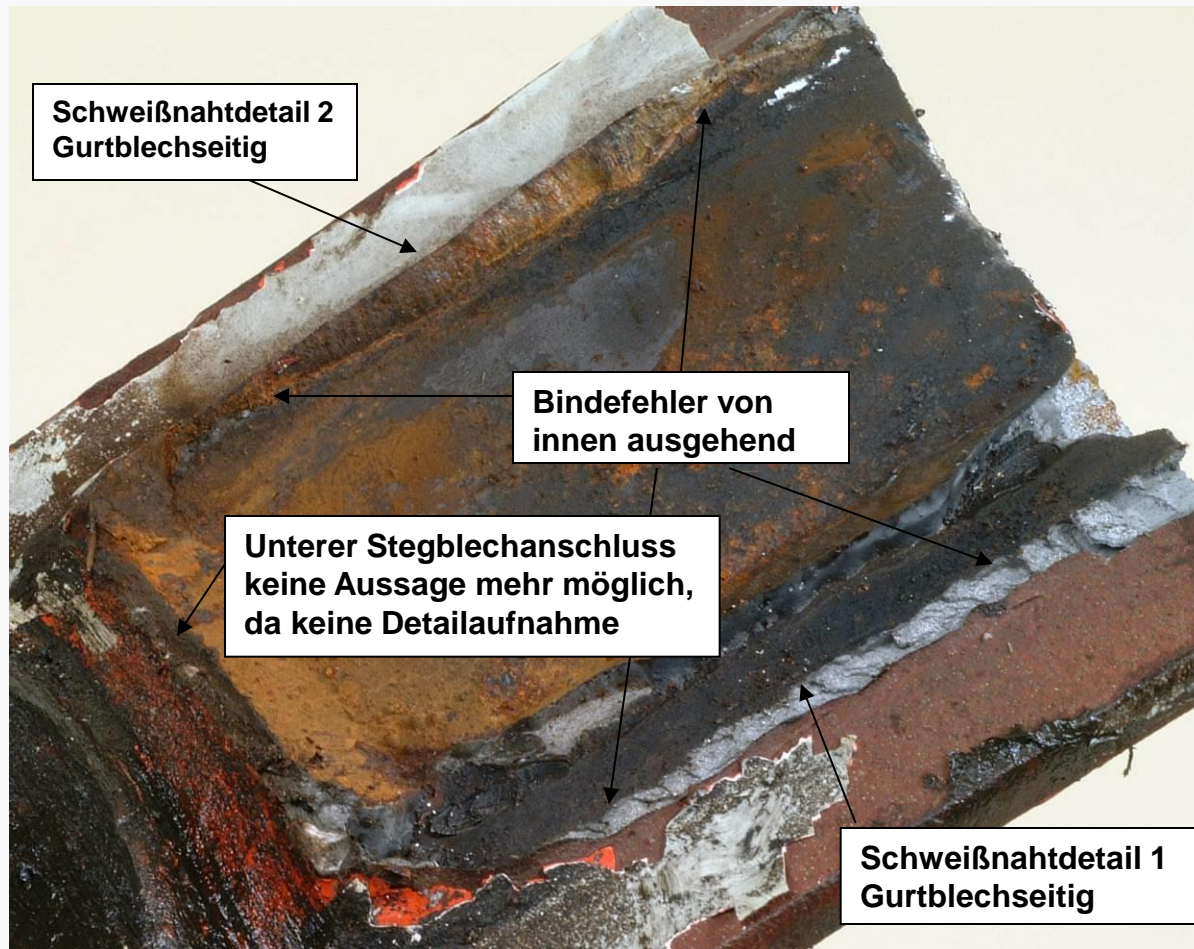






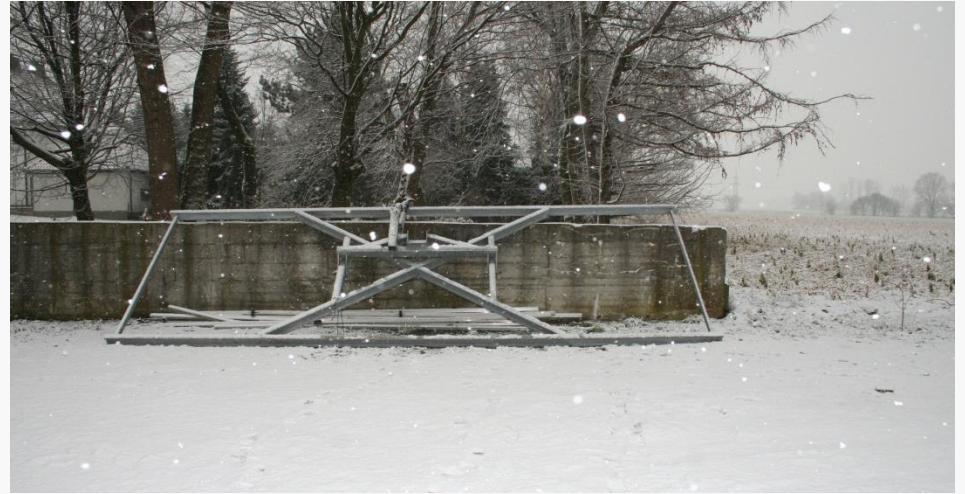


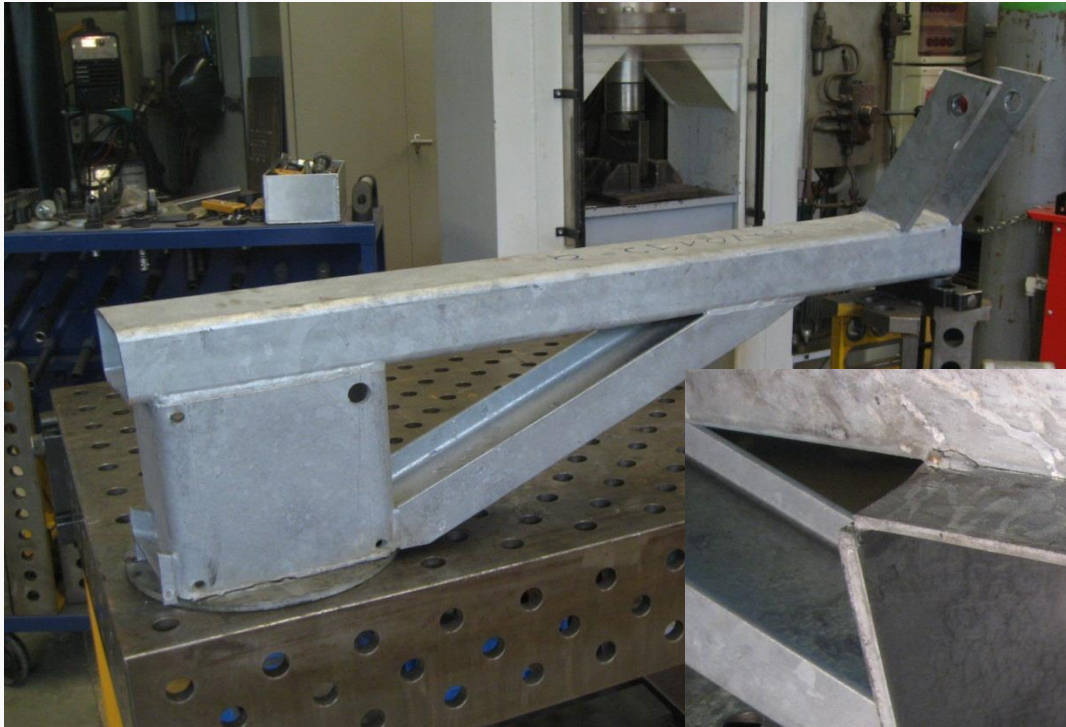




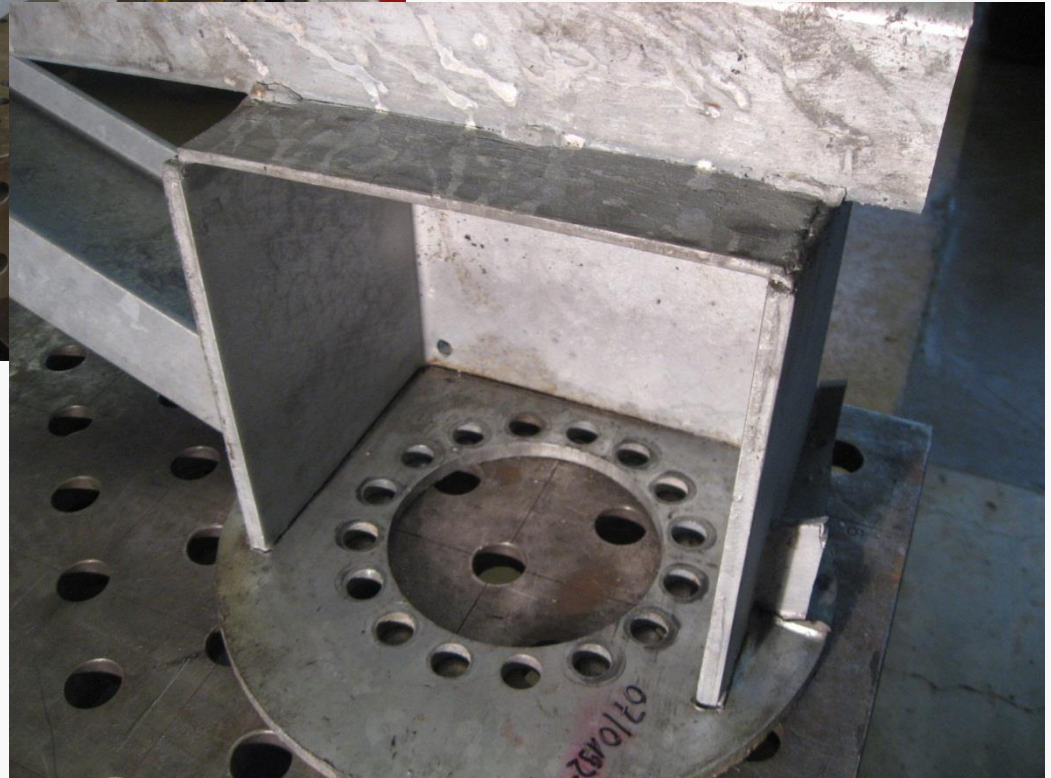




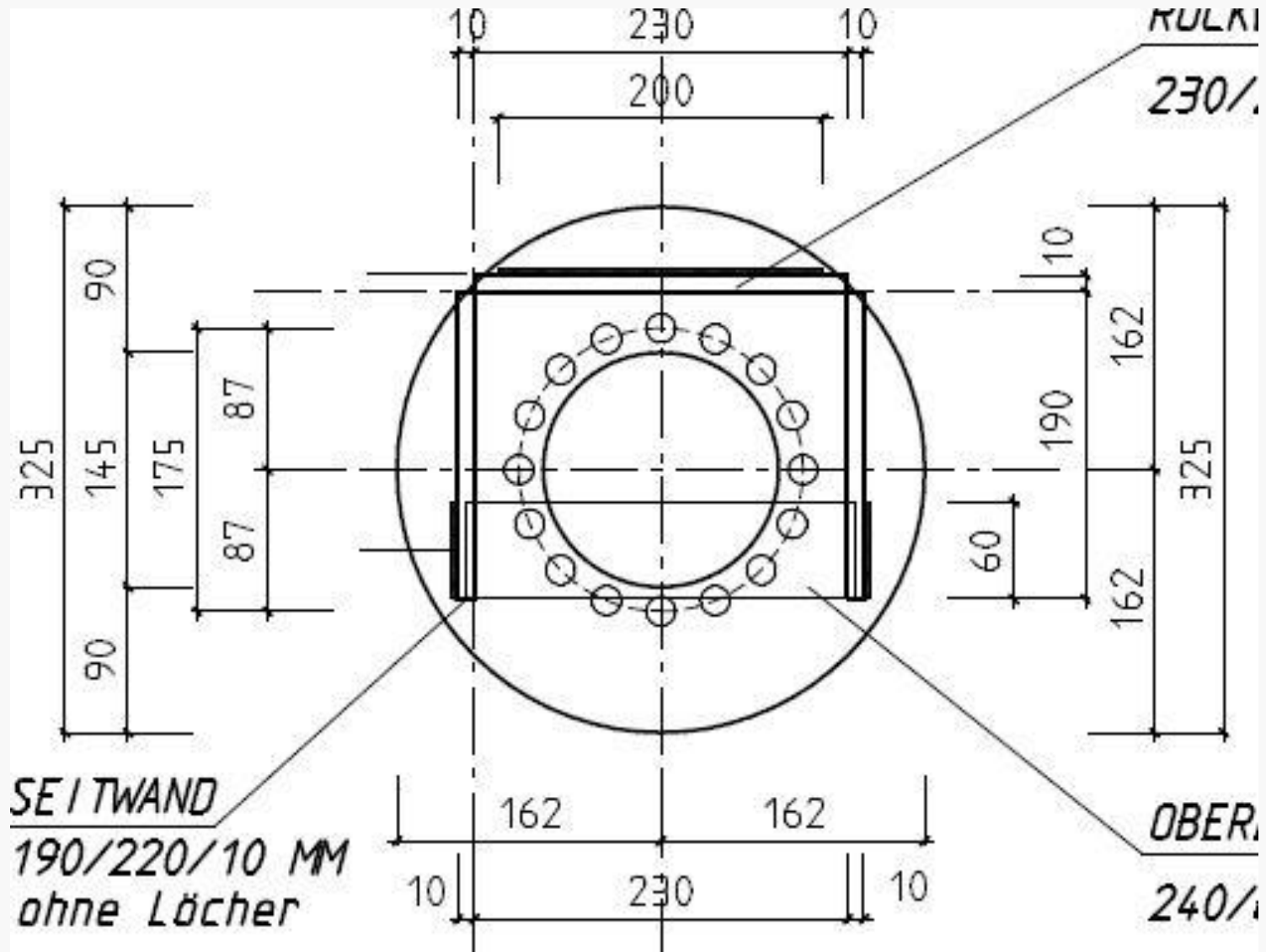


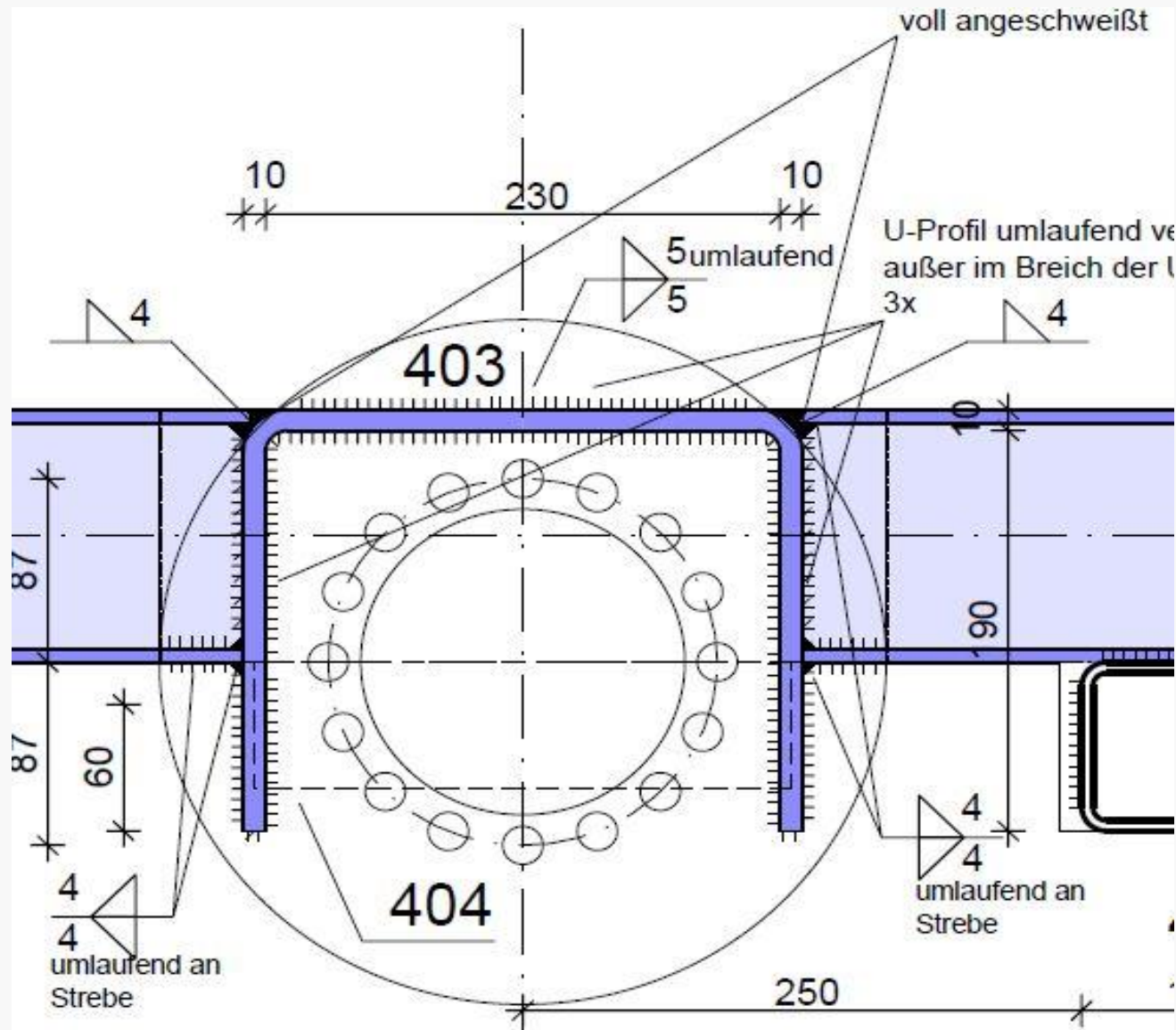


S3

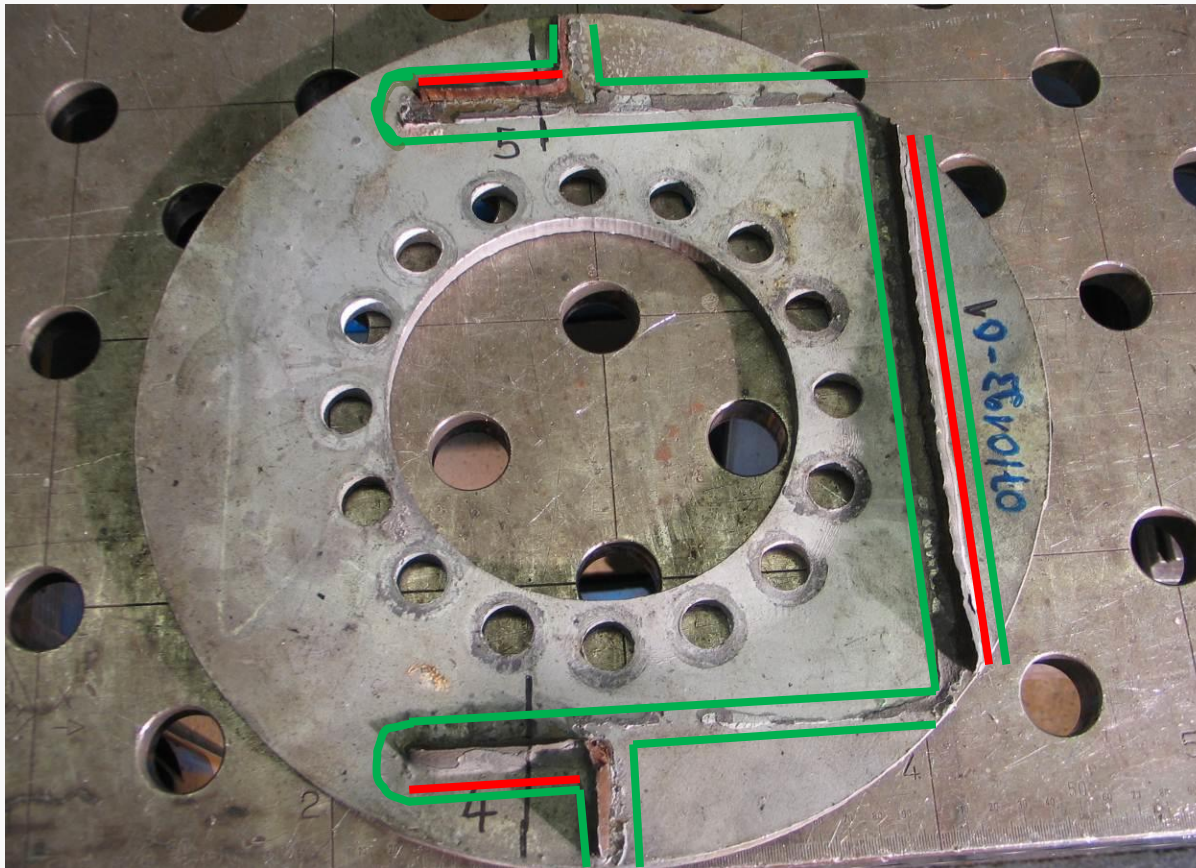












**Flansch mit gerissenen Schweißnähten**  
**Rot markiert – von der Statik vorgeschrieben**  
**Grün markiert – später laut Zeichnung vorgeschrieben**



**Innenseite nicht geschweißt – höchstbeanspruchte Stirnseiten nicht geschweißt**



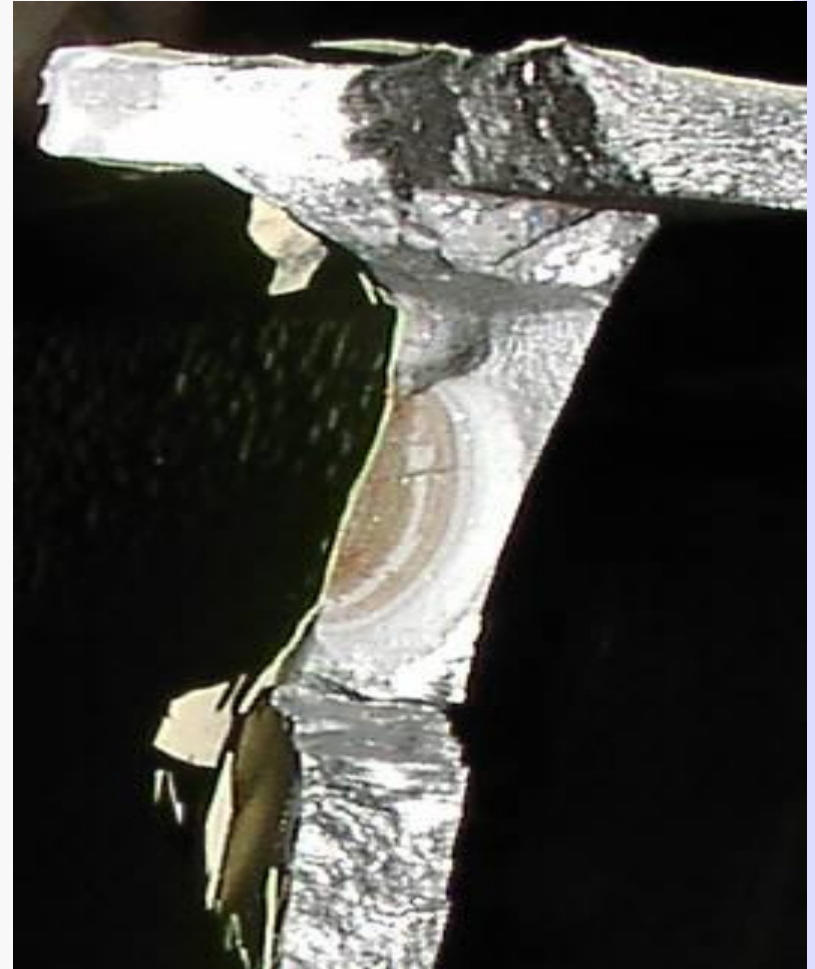
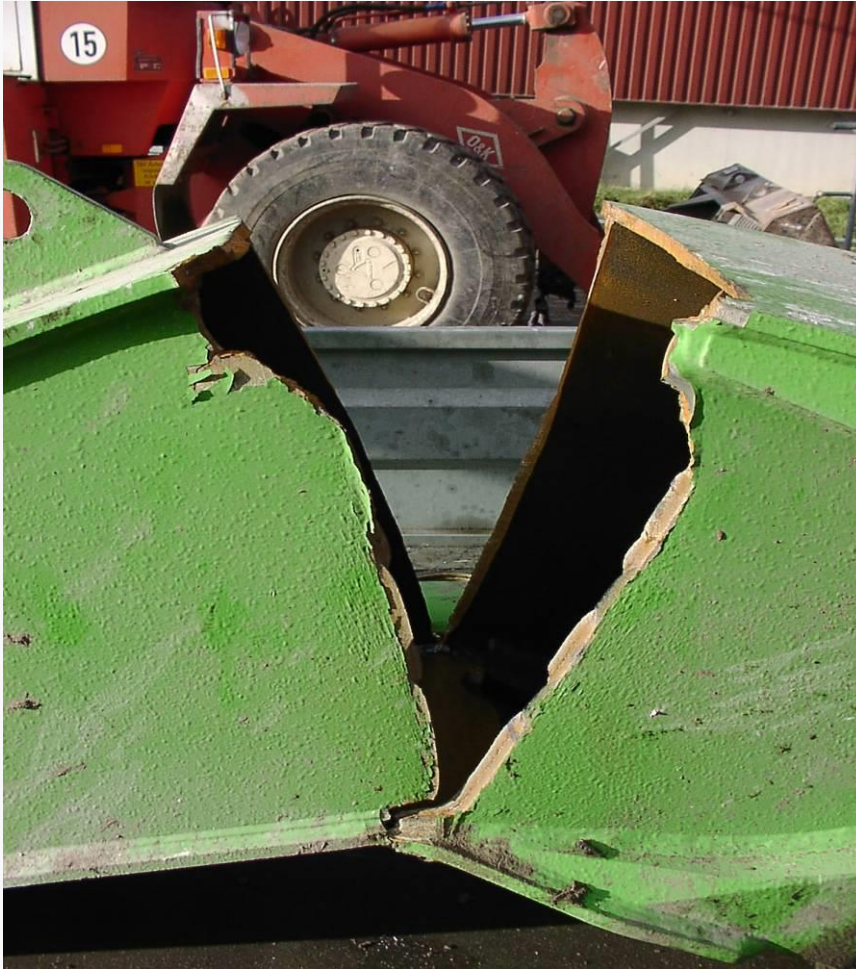


**Innenseite geschweißt – höchstbeanspruchte Stirnseiten umschweißt**















**abgerissenes Anhänger-Zugrohr verursacht größeren Materialschaden**



# Ermüdungsbruch an mangelhaft ausgeführter Schweißnaht

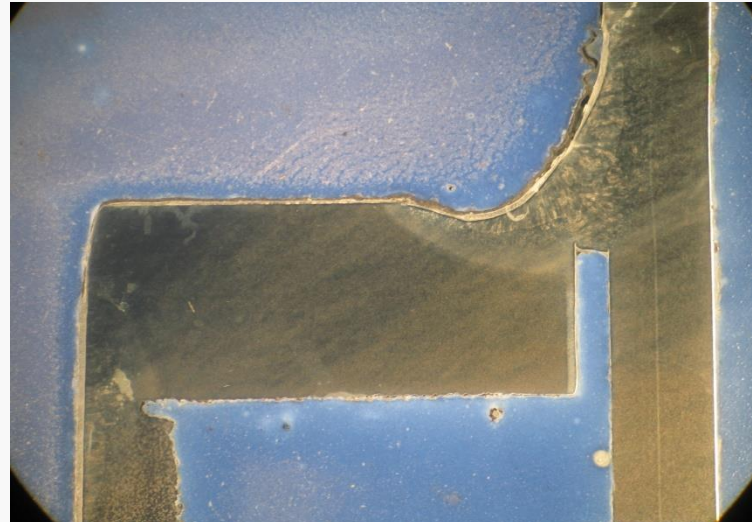
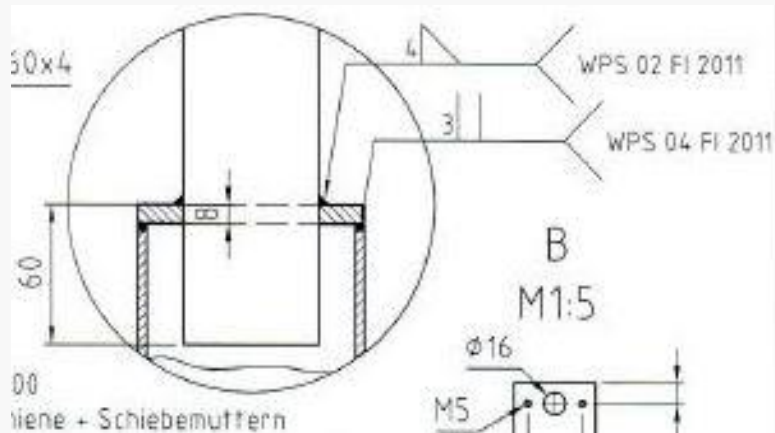
GEC

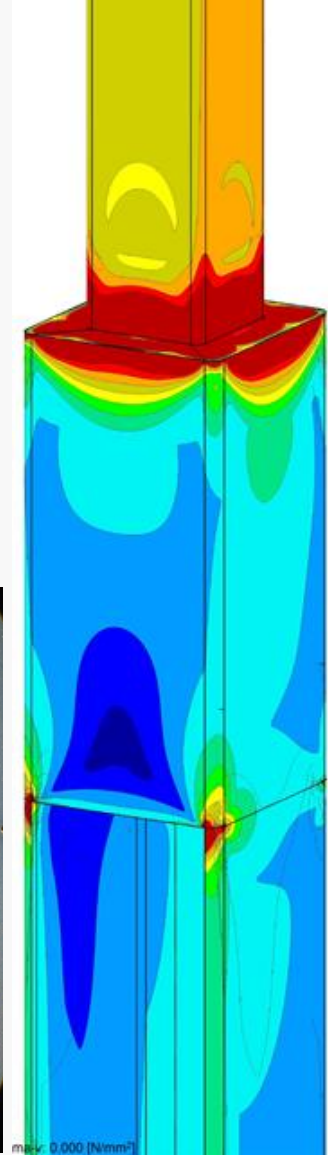
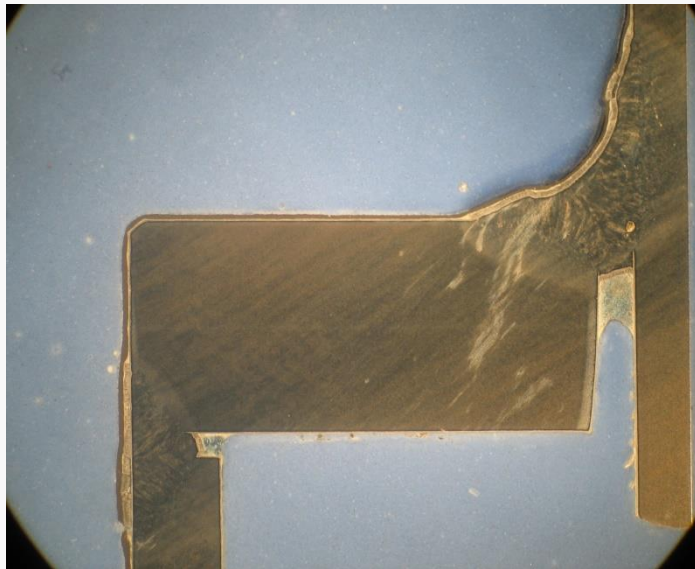
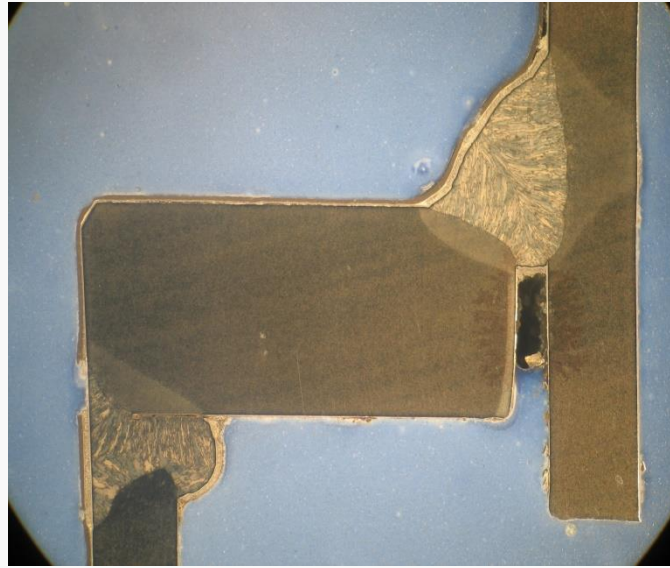
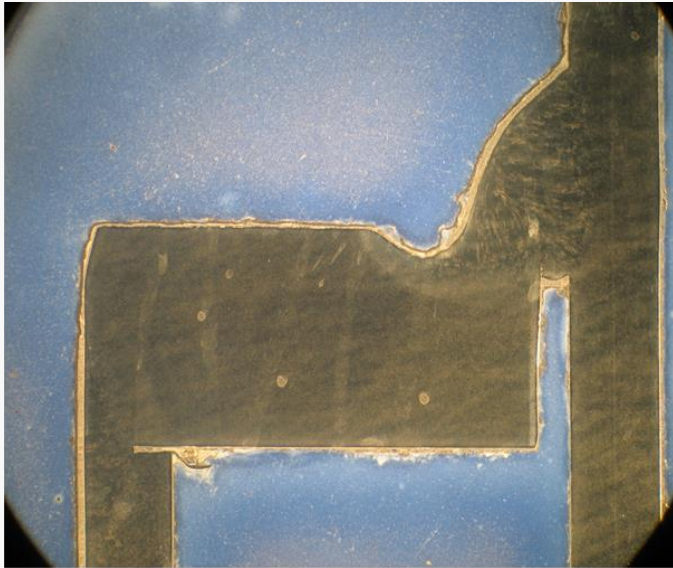
















**Problematik:**

**Festlegung der Schweißnahtqualität**

**Die Zeichnung muss eine Aussage zur Bewertungsgruppe machen zum Beispiel nach:**

**DIN EN ISO 5817**

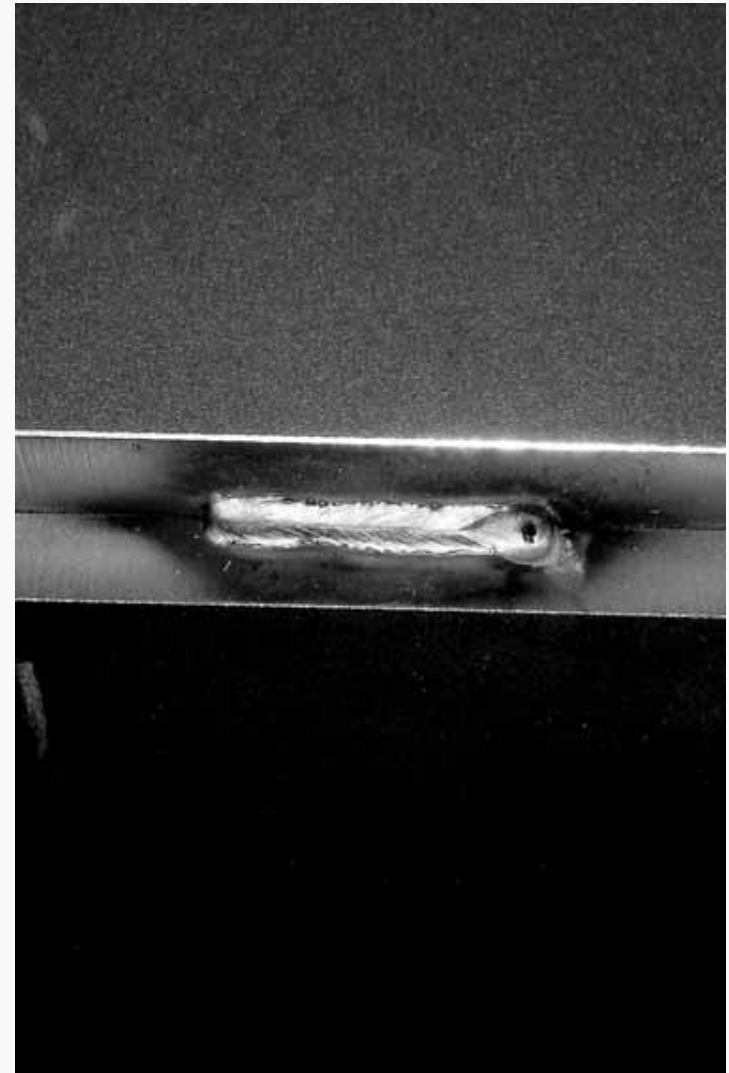
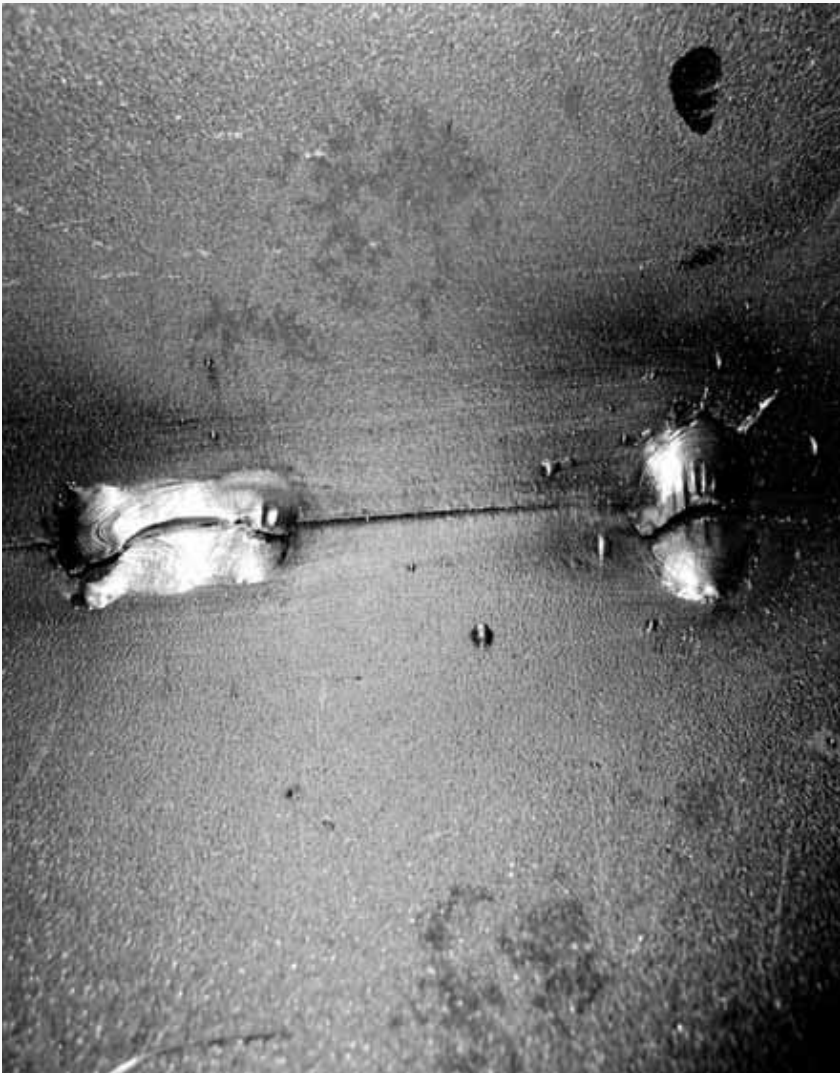
**DIN EN ISO 10042**

**DIN 29595**

## Qualitätsangaben auf Schweißzeichnungen

- Schweißnahtausführung, -länge, Kehlnahtdicke, Schweißnahtvorbereitung
- Schweißen gemäß innerbetrieblicher Schweißrichtlinie BN .....
- Schweißnahtqualität DIN EN ISO 5817 C, sofern nichts anderes angegeben
- Brennschnittgüte nach DIN EN ISO 9013 – 332
- Freimaßtoleranzen für Schweißkonstruktionen DIN EN ISO 13920 BF
- Zerstörungsfreie Prüfung nach BN .....









- **Anwendung der DIN EN ISO 9692:**

Richtlinien zur Nahtvorbereitung beim E-Handschiessen  
Schutzgasschiessen und Gasschiessen

- **Verweis auf DIN EN 1708-1 und -2:** SchweiBnahtdetails  
zusatzl. Informationen in Anhang B (Stumpfstosse und Kehlnahte)
- **Anwendung der EN 13916** zur Vorwärmtemperaturmessung
- **Vorgaben zur min. Heftnahtlänge:**

$s < 12\text{mm}$	$s \geq 12\text{mm}$
4xs	50mm
- **Max. Höhenversatz :**

$s \leq 12\text{mm}$	$s > 12\text{mm}$
1/4xs	3 mm

  
bei Stumpfstossen

## Was sagt die DIN EN 1090-2 über das Heften?

### 7.5.7 Heftnähte

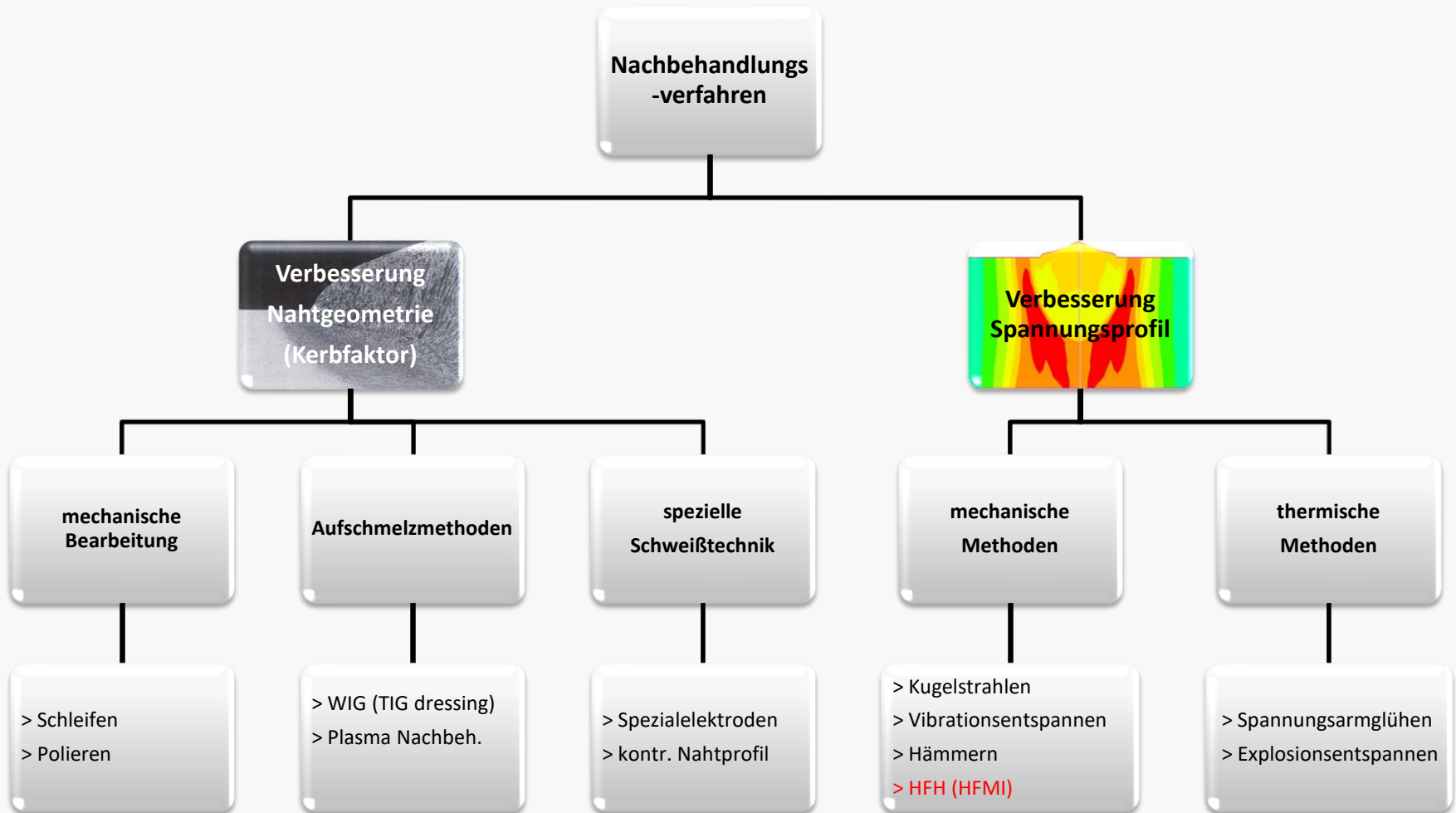
Bei EXC2, EXC3 und EXC4 müssen Heftnähte mit einem qualifizierten Schweißverfahren ausgeführt werden. Die Mindestlänge der Heftung muss kleiner als das Vierfache der Dicke des dickeren zu verbindenden Teils, jedoch mindestens 50 mm sein, es sei denn, es kann durch eine Prüfung belegt werden, dass eine kürzere Länge ausreicht.

Alle Heftnähte, die nicht in eine endgültige Naht einbezogen werden, müssen entfernt werden. Heftnähte, die in eine endgültige Naht einbezogen werden, müssen eine geeignete Form aufweisen und von qualifizierten Schweißern ausgeführt werden. Heftnähte müssen der geforderten Anordnung entsprechen und vor dem endgültigen Schweißen gründlich gereinigt sein. Gerissene Heftnähte müssen entfernt werden.



## **Bedeutung für die schweißtechnische Fertigung:**

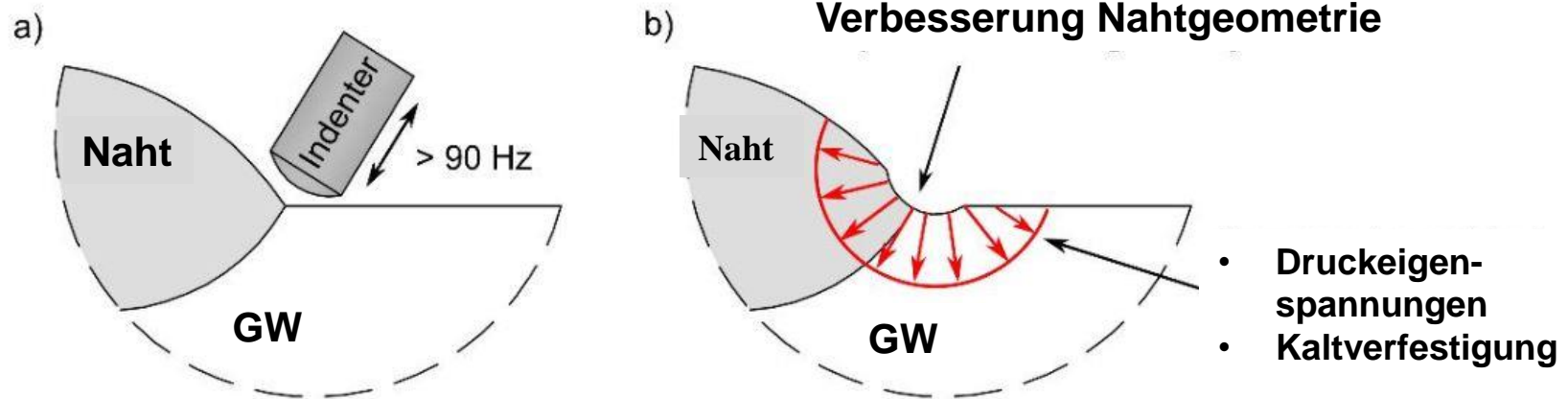
- **Steigender Einsatz höherfester Stähle (S460,S690,S1100..)**
- **Neue Technologien der Stahlherstellung (TM-Stähle,...)**
- **Zunehmende Qualitätsanforderungen, speziell Offshore,WEA**
- **Zwang zur Kostensenkung in der Fertigung**
- **Vermehrter Einsatz von Schweißnahtnachbehandlungen zur Verbesserung der Ermüdungsfestigkeit und Lebensdauer Schweißkonstruktionen**





Methode	Verringerung der Kerbwirkung	Einbringen von Druckeigenspannungen	Verfestigung der Randschicht
Ausschleifen	ja		
WIG-Aufschmelzen	ja		
Plasma-Aufschmelzen	ja		
Autofrettieren		ja	
Laserpeening		ja	
Kugelstrahlen		ja	ja
Nadeln, Hämmern		ja	ja
Hochfrequentes Hämmern	ja	ja	ja

## Wirkungsweise Höherfrequentes Hämmern (HfH int. HFMI)



a) Prinzip der HFMI Behandlung

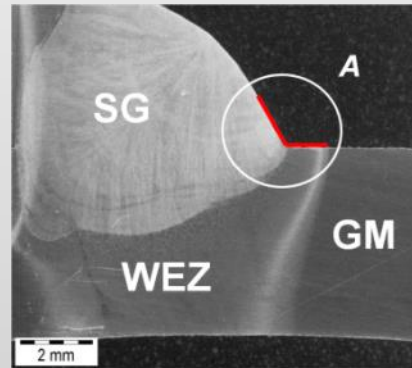
b) resultierende positive Effekte

- Reduktion der geom. Kerbwirkung
- Aufbau von Druckeigen-spannungen
- Kaltverfestigung der Oberfläche

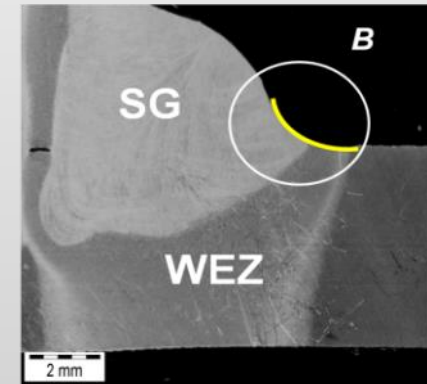


## ***PIT* ist ein höherfrequentes Hämmern, welches:**

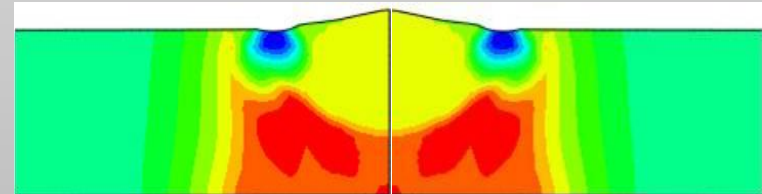
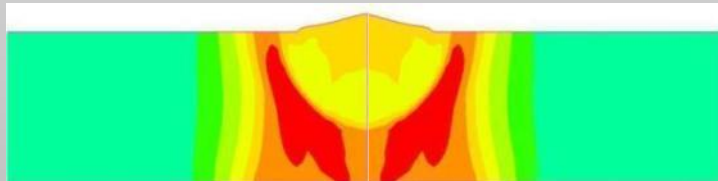
- a) Kerben und Steifigkeitssprünge geometrisch derart optimiert, dass sich der Kerbfall deutlich verbessert



=  
>



- b) oberflächennahe Zugeigenspannungen gezielt mit hohen Druckeigenspannungen überlagert



***das Resultat ist eine wesentliche Steigerung der Schwingfestigkeit/-spielzahl***

***Eine PIT Behandlung erfolgt nur an den kritischen Bereichen (den sog. Hot-Spots)***

## High Frequency Mechanical Impact (HFMI) Gerätehersteller



**UIT Gerät Fa. Applied Ultrasonics**



**UP-Gerät Fa. ITL und Syntec**



**HiFIT Gerät Fa. Dynatec**



**PIT-Gerät Fa. Pitec**



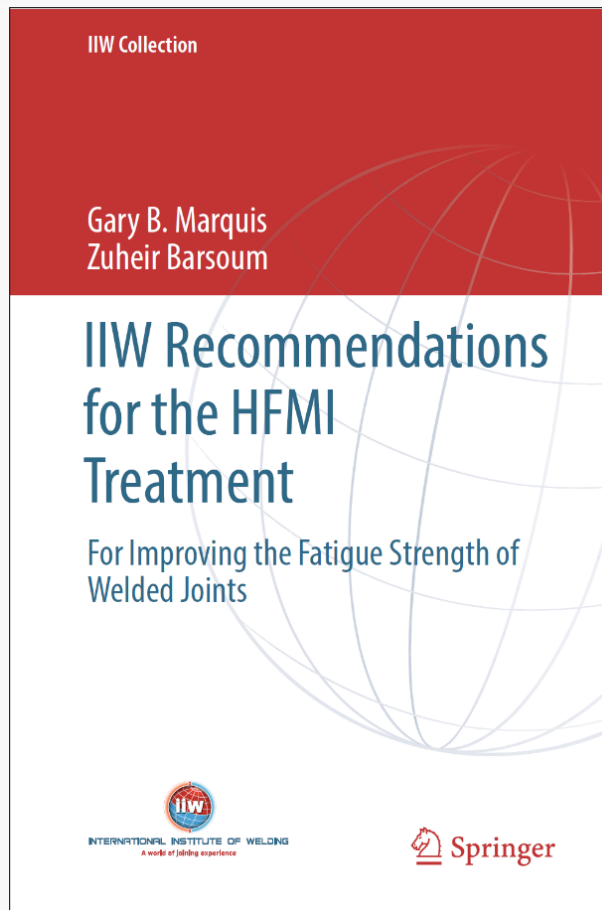


INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING  
A world of joining experience

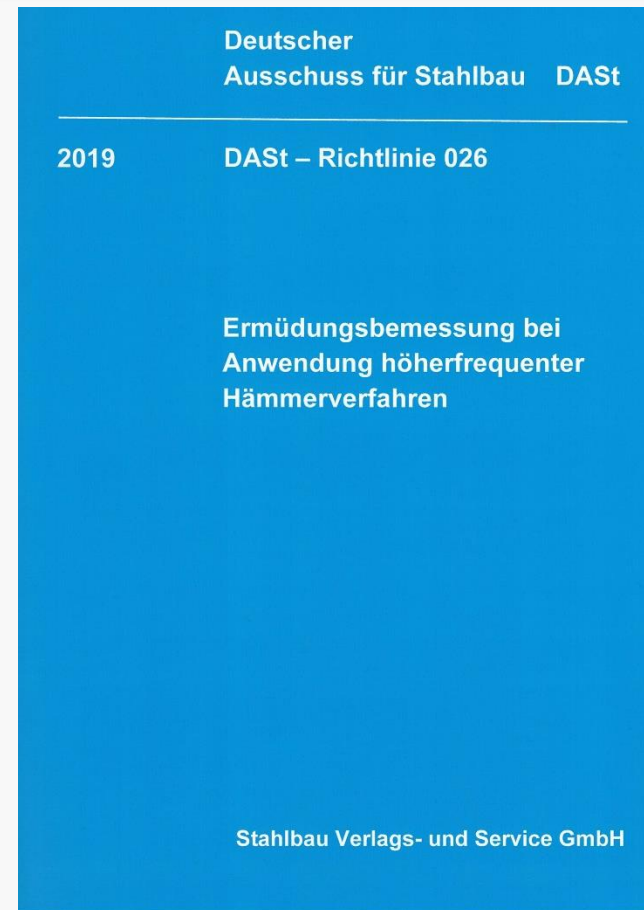
bestätigen die hohen Effekte von HFMI



Stahlbau Verlags- und  
Service GmbH  
Wir vermitteln Expertenwissen.



<https://www.springer.com/de/book/9789811025037>



<https://shop.deutscherstahlbau.de/de/dast-richtlinie-026>

***z.B. von FAT 80 auf FAT 140 und weiter***

März 2019

DEUTSCHER AUSSCHUSS FÜR STAHLBAU	Ermüdungsbemessung bei Anwendung höherfrequenter Hämmerverfahren	DAST- Richtlinie 26
<u>Inhaltsverzeichnis</u>		
1	Anwendungsbereich .....	2
2	Normative Verweisungen .....	2
3	Begriffe, Abkürzungen und Symbole .....	3
3.1	Begriffe .....	3
3.2	Abkürzungen und Symbole .....	3
4	Voraussetzungen zur Anwendung der DAST-Richtlinie .....	4
4.1	Qualifizierte HFH-Verfahren .....	4
4.2	Anforderungen an Schweißnähte vor der HFH-Nachbehandlung .....	4
4.3	Anforderungen an Schweißnähte nach der HFH-Nachbehandlung .....	4
4.4	Konstruktionsdetails .....	5
4.5	Geometrische Randbedingungen .....	5
5	Bemessungskonzept .....	5
6	Bemessungstabellen .....	6



## 1 Anwendungsbereich

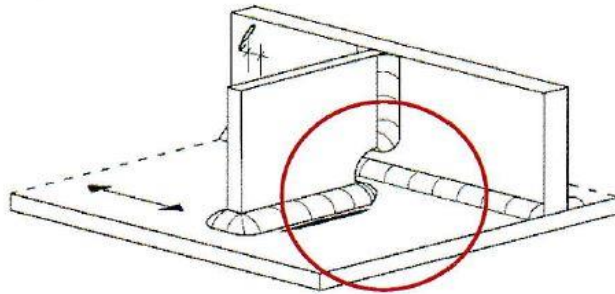
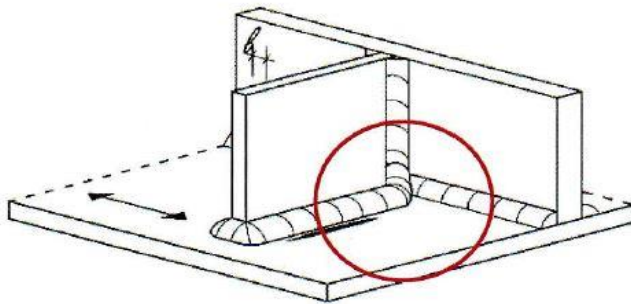
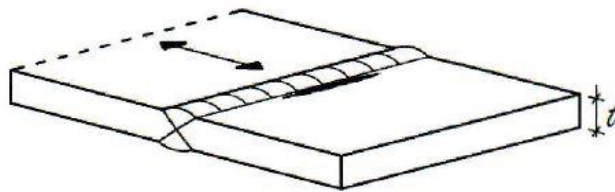
- (1) Diese DAST-Richtlinie gilt für die Nachbehandlung von geschweißten Bauteilen mit höherfrequenten Hämmerverfahren (HFH) zur Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit. Ermüdungsbeanspruchte Bauteile, die nach DIN EN 1090-2 gefertigt werden, können mithilfe dieser DAST-Richtlinie zusammen mit DIN EN 1993-1-9 bemessen werden. Sie ist an Tragwerksplaner und Hersteller gerichtet und behandelt den Ermüdungsnachweis HFH-behandelter Schweißnähte bei Neukonstruktionen.
- (2) Diese DAST-Richtlinie gilt für die Stahlsorten S235, S275, S355, S420, S450 und S460 nach DIN EN 10025 Teil 1 bis 4 sowie S460, S500, S550, S620, S690 nach DIN EN 10025 Teil 6 sowie für vergleichbare Stähle nach DIN EN 10210 und DIN EN 10219.

ANMERKUNG 1 Wetterfeste Stähle nach EN 10025-5 werden durch diese Richtlinie nicht erfasst.

ANMERKUNG 2 Diese DAST-Richtlinie ist eine Ergänzung zu DIN EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung, sowie zu DIN EN 1993: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 2: Stahlbrücken

- (3) Diese DAST-Richtlinie gibt in ihrem Hauptteil Kerbfälle für den Ermüdungsnachweis für häufig vorkommende Konstruktionsdetails, die durch HFH-nachbehandelt wurden, an. Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieser Richtlinie sind in Abschnitt 4 definiert.

Tabelle 8: Hinweise zu geeigneten und ungeeigneten Ausführungsvarianten der Konstruktionsdetails

Eignung	Skizze	Beschreibung
✗		Eingeschweißte Quersteife mit kreisrundem oder schrägem <b>Freischnitt</b> , Gefahr der unzureichenden Nachbehandlung im Bereich des Freischnitts
✓		Eingeschweißte eingepasste Quersteife ohne Freischnitt
✓		Querbelastete Stumpfnah



## 8 Qualitätssicherung

- (1) Die Anwendung der qualifizierten HFH-Verfahren hat durch einen geschulten und qualifizierten Bediener zu erfolgen.
- (2) Verfahren zur Qualifizierung des Personals:  
Die Prüfung von Bedienern muss in Anlehnung nach DIN EN ISO 14732 erfolgen. Die Qualifizierung erfolgt auf der Grundlage einer Fertigungsprüfung für Stumpf- und Kehlnähte. Es gelten die Bewertungskriterien für Stumpf- und Kehlnähte. Die Qualifikation ist auf den Systemhersteller bezogen und nicht auf andere übertragbar.
- (3) Für die qualifizierten Verfahren muss eine visuelle Prüfung (VT) der Behandlungsspur zu 100% durch den Bediener und die Schweißaufsichtsperson erfolgen. Es ist sicherzustellen, dass die ermüdungskritischen Nahtübergänge vollständig behandelt und die ursprüngliche Nahtübergangs-kerbe vollständig erfasst werden.
- (4) Die Anwendung dieser DAST-Richtlinie für andere als die in 3.1(1) genannten HFH-Verfahren muss auf Grundlage einer Bauartgenehmigung erfolgen.
- (5) Die mit dem HFH-Verfahren behandelten Schweißnahtübergänge sind in den Ausführungsunterlagen zu kennzeichnen.

Neben den Bombardierwerken Netphen und Bautzen setzt nun seit 2013 auch das Werk in Görlitz unsere PIT Technologie zur weiteren Verbesserung der Schwingfestigkeit ihrer ohnehin guten Konstruktionen ein.

Werk: Netphen - PIT seit 2010



Werk: Bautzen – PIT seit 2012



In diesem Fall für ihr „Projekt IC4“.





Nach einer Testphase am Bauteil

entschied Sennebogen sich dazu seine Anwender zu schulen und die Vorteile der PIT Technologie zu nutzen.





# Einsatz von hochfestem Feinkornstahl mit PIT Nachbehandlung – Kommunalfahrzeuge (Mulag)

# GEC



# DVS

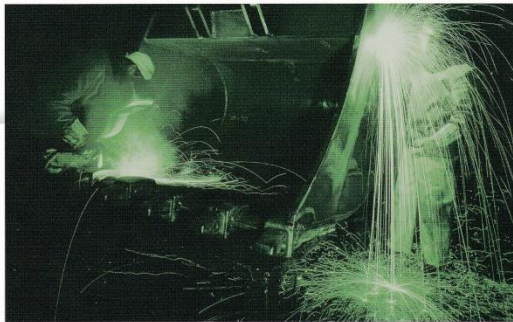


**Manchmal reichen die Bewertungsgruppen der DIN EN ISO 5817 nicht aus, um die "Qualität" der Ausführung zu beschreiben!**





PRAXISLÖSUNGEN



Peter Gerster

## Vermeidung von Schadensfällen beim Schweißen

- Häufige Ursachen von Schadensfällen
- Maßnahmen zur Schadensvermeidung
- Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit von Schweißkonstruktionen

In Kooperation mit: **DVS**  
MEDIA

durch



PRAXISLÖSUNGEN



Peter Gerster

## Schweißnahtnachbehandlung

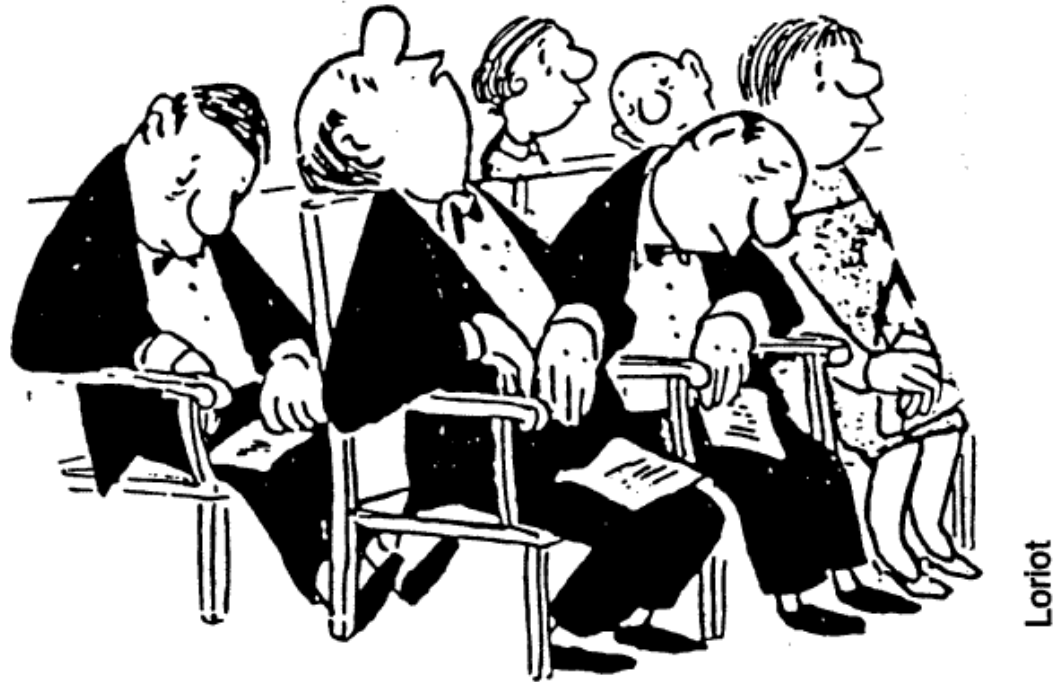
- Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit und Lebensdauer
- Nahtgeometrie und Spannungsprofil
- Pneumatic Impact Treatment (PIT)

In Kooperation mit:

**DVS**  
MEDIA



**Danke für die  
Aufmerksamkeit**



**Noch Fragen? - Bitte!**